ผลของการฉาบภายนอกของสารละลายแป้งต่อสมบัติของผิวกระดาษ

นางสาว นพมาส เยี่ยมสวัสดิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF EXTERNAL APPLICATION OF STARCH SOLUTION ON SURFACE PAPER PROPERTIES

Miss Noppamas Yiamsawat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการฉาบภายนอกของสารละลายแป้งต่อสมบัติของผิวกระดาษ
โดย	นางสาวนพมาส เยี่ยมสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. โสภี สงวนดีกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นพมาส เยี่ยมสวัสดิ์ : ผลของการฉาบภายนอกของสารละลายแป้งต่อสมบัติของผิวกระดาษ. (EFFECT OF EXTERNAL APPLICATION OF STARCH SOLUTION ON SURFACE PAPER PROPERTIES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ , 61 หน้า.

ในกระบวนการผลิตกระดาษ น้ำแป้งต้มสุกถูกใช้ในการฉาบกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ผิวหน้า เพิ่มความเรียบ และช่วยให้การพิมพ์ดีขึ้น กระบวนการฉาบผิวกระดาษนั้นถูกเรียกว่า "ไซต์ เพรส" และแป้งที่ใช้จะผ่านการย่อยด้วยการให้ความร้อนและเอนไซม์ การศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแป้งมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์กลุ่มแอลฟาอะไมเลสภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ โดยปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยอยู่ในช่วง 3.2,9.6,16 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง ใช้เวลาในการย่อย 10,20,30 นาที และช่วงอุณหภูมิในการย่อย 70,80,90 องศาเซลเซียส มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความเรียบให้ผิวหน้ากระดาษ ความเข้มข้นของแป้งที่ทำการศึกษาคือ 7 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยแป้งเพื่อการฉาบผิวกระดาษนั้น คือการใช้เอนไซม์ในการย่อย 9.6 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง ภายใต้อุณหภูมิในการย่อยที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการย่อย 20 นาที หลังจากนั้นจึงนำน้ำแป้งที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดไปทำการศึกษาโครงสร้างภายในด้วย SEM พบว่าน้ำแป้งที่ได้จากการย่อยที่สภาวะดังกล่าวเติมเต็มในส่วนของช่วงว่างระหว่างเส้นใยได้ดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....นพมาส ย.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553.....

5271488921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : SIZE PRESS/ TAPIOCA STARCH/ α-AMYLASE ENZYME/ SURFACE STENGTH/ PAPER MAKING PROCESS

NOPPAMAS YIAMSAWAT: EFFECT OF EXTERNAL APPLICATION OF STARCH SOLUTION ON SURFACE PAPER PROPERTIES. ADVISOR : ASSOC. PROF. MUENDUEN PHISALAPHONG, Ph.D., 61 pp.

In papermaking process, starch solution is applied to the surface of paper to improve paper properties such as surface strength, smoothness and printing ability. This process is called "size press". Starch solution is prepared by digestion of cooked starches in water with enzyme. In this study, tapioca starch was subjected to enzymatic hydrolysis with alpha (α)-amylase under isothermal temperature control. The effects of dosage of enzyme (3.2,9.6,16 mL/kg of starch), time (10,20,30 minutes) and temperature (70,80,90 °C) on the hydrolysis of starch were investigated. In order to obtain good surface strength and surface smoothness of paper, the optimal conditions for 7% (w/w) tapioca starch digestion were at 9.6 mL of α-amylase/ kg of starch under controlled temperature at 90 °C for 20 minutes. With the proper treatment, SEM pictures reveal the surface morphology of uniformly and thoroughly coating of starch and filling the pores between the cellulose fibers of the paper.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering Student's Signature Noppamas Y.

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคล กลุ่มบุคคลต่าง ๆ และ บริษัทต่าง ๆ ได้แก่

ขอขอบคุณ อาจารย์ รศ.ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ให้คำแนะนำคำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์, คุณ กิจชัย กาญจนประภากุล สำหรับความช่วยเหลือในการทำอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ธราธร มงคลศรี ประธานกรรมการ, รศ.ดร.บรรเจิด จงสมจิตร กรรมการ และ ดร.โสภี สงวนดีกุล กรรมการจากภายนอก สำหรับคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณ บริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน) สำหรับวัตถุดิบ, ข้อมูลและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง, พนักงานทดสอบกระดาษทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ, วิศวกรทุกท่าน สำหรับคำแนะนำ และข้อมูลทางวิชาการต่างๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณ บิดา และ มารดา สำหรับกำลังใจ,คำแนะนำ และการสนับสนุนที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 ทฤษฎี..... 3

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 24

บทที่ 4 การทดลองและแผนงานดำเนินงาน..... 32

บทที่ 5 ผลการทดลอง..... 36

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 45

เอกสารอ้างอิง..... 50

ภาคผนวก.....

ภาคผนวก ก คุณสมบัติของกระดาษที่นำมาใช้ในการทดลองและมาตรฐานในการทดสอบ..... 52

ภาคผนวก ข วิธีการฉาบผิวกระดาษ..... 54

ภาคผนวก ค วิธีการทดสอบผิวหน้ากระดาษด้วยวิธี IGT..... 55

ภาคผนวก ง วิธีการเตรียมตัวอย่างและการถ่ายภาพด้วย SEM..... 57

ภาคผนวก จ วิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์..... 58

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 เอนไซม์ : แหล่งของจุลินทรีย์และคุณสมบัติบางประการ..... 14
2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแป้งแต่ละชนิด..... 16
3 แสดง % การย่อยของแป้ง และแป้งที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิสูงกว่า Tg ของแป้ง..... 25
4 แสดงผลการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส 4 ชนิด..... 27
5 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยของแป้งด้วยเอนไซม์ 10 IU/mL ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 ชั่วโมง..... 30
6 แสดงแสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยของแป้งด้วยเอนไซม์ 10 IU/mL ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 144 ชั่วโมง..... 30
7 แสดงเงื่อนไขในการทดลองเพื่อหาแนวโน้มของค่าความหนืดและโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ ได้รับผลมาจากปัจจัยต่างๆในการย่อย..... 33
8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ..... 35
9 แสดง ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากน้ำแป้งต้มสุกที่ทำการศึกษา..... 44
10 แสดงผลสรุปการศึกษาการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์เพื่อใช้ในการฉาบผิวกระดาษ..... 47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	แสดงกระบวนการหลักในการผลิตกระดาษ	5
2	แสดงขั้นตอนหลักในการผลิตกระดาษ	6
3	แสดงสัดส่วนการใช้แป้งในกระบวนการผลิตกระดาษ	6
4	อนุภาคขนาดนาโนของแป้งจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	8
5	Size press แบบแอ่งน้ำ	10
6	Size press แบบควบคุมฟิล์ม	10
7	Size press แบบ Gate Roll	10
8	แสดงโครงสร้างของอะไมโลส	11
9	แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน	12
10	แสดงการตัดพันธะของเอนไซม์ทั้ง 4 กลุ่ม	13
11	แสดงกลไกการย่อยแป้งในขั้นตอนลิเคอแฟคชั่น	15
12	แสดงขั้นตอนการย่อยแป้งแบบกะ	17
13	การเตรียมแป้งโดยใช้ระบบการย่อยแบบกะ	18
14	แสดงขั้นตอนการย่อยแป้งแบบต่อเนื่อง	19
15	การเตรียมแป้งโดยใช้ระบบการย่อยแบบต่อเนื่อง	20
16	Wax Pick Test	21
17	IGT Tester	22
18	แสดงภาพปัญหา Picking ที่เกิดบนผิวหน้ากระดาษ	22
19	แสดงลักษณะการถอนผิวกระดาษด้วยภาพตัดขวาง	23
20	แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่การย่อย 50,70 องศาเซลเซียส ของแป้งชนิดต่างๆ	24
21	แสดงค่า DE ของแป้งธรรมชาติ และแป้งที่ผ่านการปรับสภาพ	26
22	โครงสร้างภายในของแป้งที่ถ่ายภาพด้วย SEM	27
23	แสดงปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากแป้งชนิดต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์ 200 unit/ml	28
24	แสดงสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ของเอนไซม์ชนิดต่างๆ	29
25	แสดงระบบต้มแป้งแบบต่อเนื่อง	31

รูปที่ หน้า

26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและอุณหภูมิในการย่อยที่ 70,80,90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10,20,30 นาที..... 36
27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษและอุณหภูมิในการย่อย ที่ 70,80,90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10,20,30 นาที..... 37
28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและอุณหภูมิในการย่อยที่ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10,20,30 นาที..... 38
29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษและอุณหภูมิในการย่อย ที่ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10,20,30 นาที..... 38
30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับปริมาณเอนไซม์ที่อุณหภูมิในการย่อยที่ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10,20,30 นาที 39
31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษกับปริมาณเอนไซม์ ที่อุณหภูมิในการย่อย ที่ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10,20,30 นาที..... 40
32 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อย..... 40
33 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที..... 41
34 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที..... 41
35 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที..... 41
36 แสดงภาพถ่าย SEM ของผิวหน้ากระดาษที่ไม่ได้รับการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งสุก..... 42
37 แสดงผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งต้มสุกที่ถูกย่อยด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เอนไซม์ 9.6 ml/kg..... 43
38 แสดงผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งต้มสุกที่มีค่าความหนืด ต่ำกว่า 20 cps 43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญในการทำงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตกระดาษจะใช้แป้งเป็นตัวประสานหรือฉาบผิวกระดาษ ประมาณ 1 แสนตันต่อปี [1] โดยส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวหน้ากระดาษโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Size Press [2]

กระบวนการ Size Press เป็นกระบวนการฉาบผิวกระดาษด้วยน้ำแป้งสุก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวหน้ากระดาษ แป้งที่เหมาะจะนำมาใช้ในกระบวนการ Size Press จะต้องมีองค์ประกอบของโปรตีนมากกว่า 0.35% และควรมีขนาดของโมเลกุลเฉลี่ยเพียงค่าเดียว [3] ซึ่งก่อนที่จะนำแป้งมาฉาบผิวกระดาษได้นั้นแป้งจะต้องผ่านกระบวนการแปรรูป จากแป้งผงเป็นน้ำแป้งสุก ด้วยกระบวนการย่อยโดยใช้ความร้อน ในประเทศไทยแป้งที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษมากที่สุดคือแป้งมันสำปะหลัง และใช้เอนไซม์เป็นตัวช่วยในการย่อยร่วมกับความร้อน เนื่องจากใช้ต้นทุนและอุณหภูมิในการย่อยต่ำ [4] ซึ่งกระบวนการย่อยแป้งที่ใช้เอนไซม์ช่วยย่อยนั้นจะควบคุมปฏิกิริยาได้ยากและมีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องมากกว่าการใช้กรดเป็นตัวช่วย ทำให้คุณภาพของน้ำแป้งสุกในการผลิตแต่ละครั้งเกิดความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลไปยังความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ และเมื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการพิมพ์จะทำให้เกิดปัญหาการถอนผิว งานพิมพ์ออกมาจะไม่ได้ไม่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนด

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยแป้งที่ใช้ในการฉาบผิวหน้ากระดาษ ศึกษาแนวโน้มค่าความหนืดและโครงสร้างภายในของน้ำแป้งสุกเมื่อปัจจัยเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลไปยังความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ ศึกษาวิธีการวัดคุณภาพของน้ำแป้งสุกให้มีความละเอียดมากกว่ามาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมถึงการหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อยแป้งด้วยเอนไซม์เพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษสูงที่สุดด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการต้มแป้ง รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
2. หาแนวโน้มคุณภาพของน้ำแป้งเมื่อปัจจัยต่างๆในการต้มแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง
3. หาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มแป้งเพื่อให้ได้ความแข็งแรงของผิวหน้าสูงที่สุด
4. หาตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำแป้งที่มีความละเอียดขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษากระบวนการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์ (Ecotech 24 MX-TP) ซึ่งเป็นเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสผลิตจาก Bacillus Stearothermophilus (activity : 240 NAU/g) เจือจาง 0.1% (v/v) ในปริมาณ 1,3,5 ml สภาวะในการย่อย ที่อุณหภูมิ 70,80,90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการย่อย 10,20,30 นาที โดยใช้ค่าความหนืด, โครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ และถ่ายภาพผิวหน้าด้วยเครื่อง Scaning electron microscope (SEM) เป็นตัวชี้วัด และนอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Dinitrosalicylic Acid (DNS) เพื่อใช้ในการวัดคุณภาพน้ำแป้งให้มีความละเอียดมากขึ้น และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยแป้งในการฉาบผิวเพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่ผิวหน้าสูงที่สุด ในงานวิจัยนี้อ้างอิงวิธีการย่อยแป้งและการฉาบผิวหน้ากระดาษจาก บมจ. กระดาษสหไทย และไม่ได้ศึกษาถึง %Solid ของน้ำแป้ง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการต้มแป้งและเคลือบผิวกระดาษจาก บมจ.กระดาษสหไทย
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. หาปัจจัยต่าง และออกแบบการทดลอง
4. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง
5. ทำการทดลองเพื่อดูแนวโน้มของค่าความหนืดและโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ได้รับผลมาจากปัจจัยต่างๆในการย่อย
6. นำน้ำแป้งที่มีค่าความหนืดต่างๆมาทำการเคลือบผิวกระดาษและทดสอบความแข็งแรงที่ผิวหน้าเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด
7. ศึกษาการหาค่านำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Somogyi-Nelson เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดคุณภาพน้ำแป้ง
8. สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวโน้มความหนืดของน้ำแป้งและโครงสร้างภายในเมื่อปัจจัยต่างๆเกิดการเปลี่ยนแปลง
2. น้ำแป้งที่ผ่านการย่อยมีคุณภาพสม่ำเสมอเนื่องมาจากสามารถความคุมสภาวะการย่อยได้
3. ความแข็งแรงที่ผิวหน้าของกระดาษดีขึ้นสามารถรองรับงานพิมพ์ได้ทุกรูปแบบ
4. มีตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำแป้งที่ละเอียดและชัดเจนขึ้น
5. ลดความสูญเสีย ที่เกิดขึ้นจากกรณีที่การย่อยแป้งไม่ได้คุณภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 กระบวนการผลิตกระดาษ [3,5,6,8,10]

สำหรับขั้นตอนของกระบวนการผลิตกระดาษ มีขั้นตอนหลักๆ อยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ (stock preparation)
2. ขั้นตอนการผลิตกระดาษ (papermaking)
3. ขั้นตอนการแปรรูป (converting)

<u>การเตรียมน้ำเยื่อ</u>

ในขั้นการเตรียมน้ำเยื่อนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ เพื่อพัฒนาศักยภาพของเส้นใย โดยการนำเยื่อไปบด และปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยการผสมหรือใส่สารเติมแต่งชนิดต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่า “น้ำเยื่อ” หรือ “สต็อก” (stock) เยื่อที่นำมาทำกระดาษทุกชนิดจะต้องผ่านการบด มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของเยื่อ เยื่อบางชนิดไม่จำเป็นต้องบด เช่น เยื่อไม้บดและเยื่อเวียนทำใหม่ ในขั้นการเตรียมน้ำเยื่อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการบดและผสมโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการเรียงลำดับดังนี้

1.การกระจายเส้นใย (defibering) กระจายเยื่อเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดราพัลเพอร์ (hydrapulper)

2.การบดเยื่อ (refining) บดเยื่อเพื่อให้เส้นใยแตกแขนงเป็นการเพิ่มศักยภาพของพันธะระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้คือรีไฟเนอร์ (refiner)

3.การผสมน้ำเยื่อ (blending) เป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเยื่อที่ผ่านการบดแล้วโดยผสมในถังใบพัดกวน เยื่อจะถูกเก็บในถังที่เรียกว่า แมชีนเชสต์ (machine chest)

4.การแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำ เยื่อ (screening and cleaning) โดยใช้ pressure screen หรือ flat screener เพื่อคัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออกแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความสะอาด เรียกว่า เซนตริฟิวต์คลีนเนอร์ (centrifugal cleaner) คัดแยกวัสดุอื่นออกไปโดยใช้หลักการถ่วงจำเพาะ

5.การควบคุมความข้นของน้ำเยื่อ (consistency regulator) เพื่อควบคุมให้น้ำเยื่อข้นคงที่

ขั้นตอนการผลิตกระดาษ

1. การปล่อยเยื่อกระดาษ (Head Box)

หลังจากเตรียมเยื่อกระดาษที่มีส่วนผสมและความเข้มข้นของสารเคมีตามที่ต้องการแล้ว จะเริ่มขั้นตอนของกระบวนการผลิตกระดาษ โดยเริ่มจากการนำเยื่อดังกล่าวมาปล่อยลงสู่ลวดเดินแผ่นเพื่อให้เยื่อเกิดการกระจายตัวและเรียงตัวซ้อนกันเป็นแผ่นกระดาษ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการปล่อยเยื่อกระดาษลงสู่ลวดเดินแผ่น เรียกว่า Head Box

2. ชุดลวดเดินแผ่น (Wire Part)

การปล่อยเยื่อกระดาษลงสู่ลวดเดินแผ่น นอกจากจะเป็นการทำให้เยื่อเกิดการกระจายตัว และเรียงตัวซ้อนกันเป็นแผ่นกระดาษแล้ว ในช่วงของลวดเดินแผ่นนี้ น้ำและสารเคมีที่อยู่ในเยื่อกระดาษจะถูกระบายออกจนเหลือความชื้นประมาณ 70–80%

3. ชุดลูกกด (Press Part)

เมื่อกระดาษผ่านชุดลวดเดินแผ่นแล้ว กระดาษจะถูกส่งเข้าสู่ชุดลูกกดโดยผ้าสักหลาด ซึ่งผ้าสักหลาดนอกจากจะทำหน้าที่พากระดาษไปยังขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิตกระดาษแล้ว ยังทำหน้าที่ดูดซับน้ำออกจากกระดาษบางส่วนด้วย ซึ่งเมื่อกระดาษเข้าสู่ชุดลูกกด ชุดลูกกดจะทำหน้าที่รีดเอาน้ำออกจากกระดาษ โดยการใช้แรงในการกดและบีบน้ำให้ออกจากกระดาษให้มากที่สุด และเมื่อกระดาษผ่านออกจากชุดลูกกด กระดาษจะมีความชื้นเหลือประมาณ 55–60% ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่กระบวนการในชุดลูกอบต่อไป

4. ชุดลูกอบ (Dryer Press)

เมื่อกระดาษเดินทางมาถึงชุดลูกอบ กระดาษจะถูกทำให้แห้งมากขึ้น โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำ ซึ่งกระดาษที่ผ่านออกจากชุดลูกอบจะค่อนข้างแห้ง และเหลือความชื้นประมาณ 5%

5. ชุดฉาบผิว (Size Press)

เพื่อให้กระดาษมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น และเหมาะกับการนำไปใช้งาน กระดาษจะผ่านการฉาบด้วยสารเคมี ซึ่งจะมีผลทำให้

- ต้านทานการถอนผิวได้ดีขึ้น (Picking Resistance)
- ต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น (Water Resistance)
- มีความเรียบดีขึ้น (Smoothness)

6. ชุดขัดผิว (Calender)

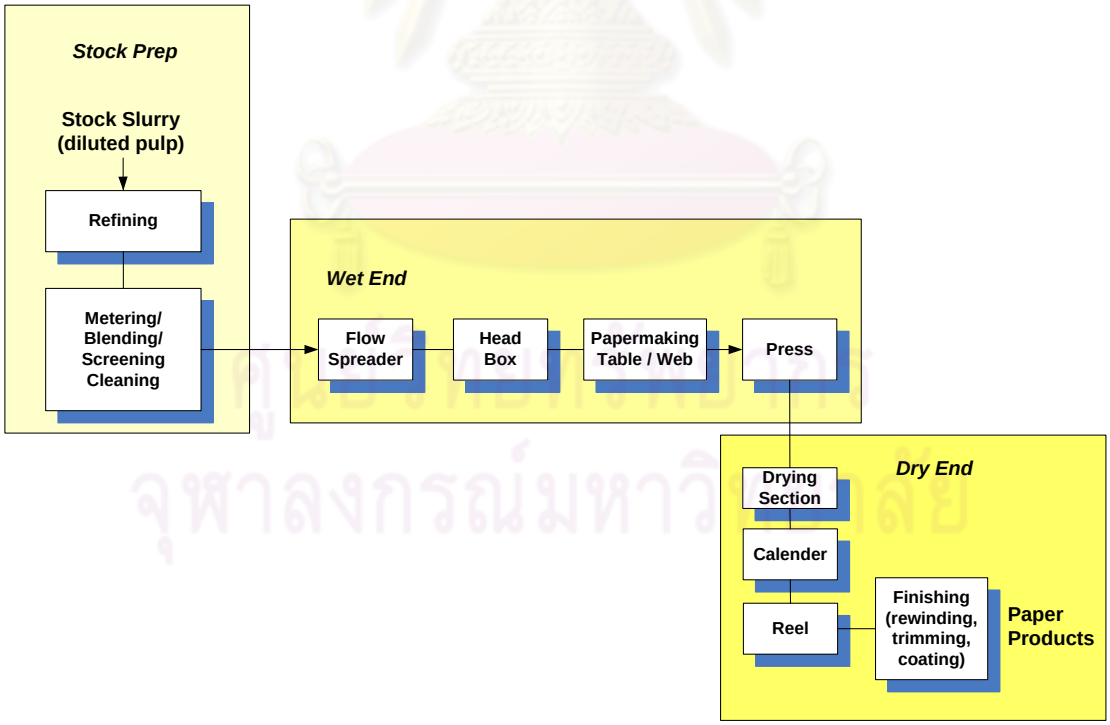
เมื่อกระดาษมาถึงชุดขัดผิว จะยังมีผิวหน้าที่ค่อนข้างหยาบ และยังไม่แน่นตัว ดังนั้นเมื่อมาถึงชุดขัดผิว กระดาษจะถูกส่งผ่านลูกกลิ้งโลหะที่ใช้แรงกดสูง เพื่อ

- ควบคุมความหนาของกระดาษให้ได้ตามที่ต้องการ
- ควบคุมความเรียบของกระดาษให้ได้ตามที่ต้องการ

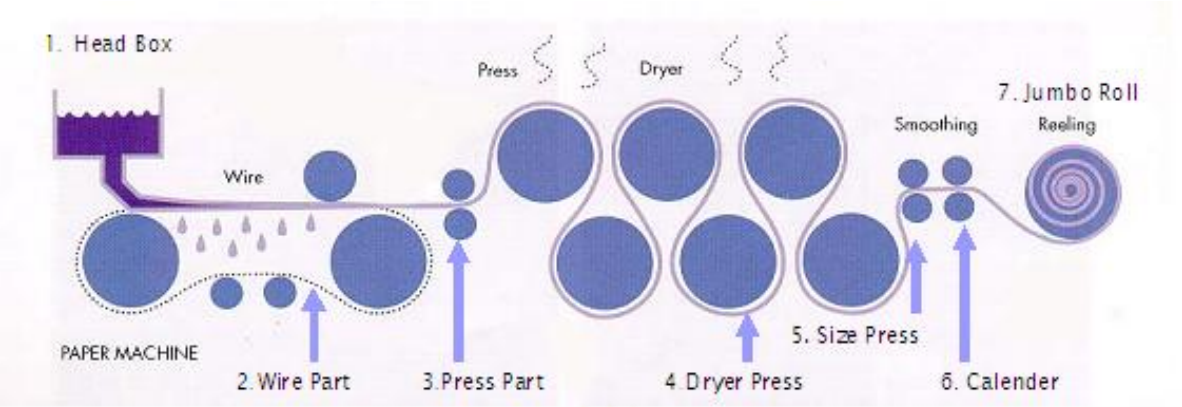
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และเมื่อผ่านขั้นตอนของชุดขัดผิวแล้วกระดาษจะถูกกรอเข้าม้วนใหญ่ (Jumbo Roll) เพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปต่อไป โดยกระบวนการหลักและขั้นตอนของการผลิตกระดาษแสดงได้ดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 2

หากต้องการปรับปรุงคุณภาพของผิวกระดาษให้มีความเรียบเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการพิมพ์ และมีความแข็งแรงขึ้น ก็สามารถนำกระดาษดังกล่าวไปทำการเคลือบผิว โดยผ่านเข้าเครื่องเคลือบผิว (Coater) ซึ่งทำหน้าที่นำสารเคลือบผิวซึ่งมีโฟมกับแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเคมีหลัก และมีส่วนผสมของดินขาว หินปูน และลาเทกซ์อีกเล็กน้อย ไปเคลือบที่ผิวกระดาษ การเคลือบผิวอาจเป็นแบบ “เคลือบด้านเดียว” หรือ ”เคลือบสองด้าน” ของกระดาษ และอาจจะ”เคลือบด้าน” หรือ”เคลือบมัน” ก็ได้ ทั้งนี้การเคลือบด้านหรือเคลือบมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเครือบผิวที่ใช้ รวมถึงความมันวาวของกระดาษที่นำมาเคลือบผิว และวิธีการที่ใช้ในการเคลือบผิวเป็นสำคัญ ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบผิวกระดาษอาจเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องผลิตกระดาษ หรือแยกออกมาต่างหากก็ได้ กระดาษที่ผ่านการรีดผิวและ/หรือเคลือบผิวมาแล้วเป็นกระดาษที่มีความเรียบและความมันวาวในระดับหนึ่ง หากต้องการเพิ่มความมันวาวของกระดาษให้มีมากขึ้น จะต้องนำกระดาษไปขัดผิวอีกครั้งหนึ่งโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “Supercalender” ซึ่งจะสามารถเพิ่มความมันวาวของกระดาษให้มีมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่กระดาษได้รับการขัดผิว

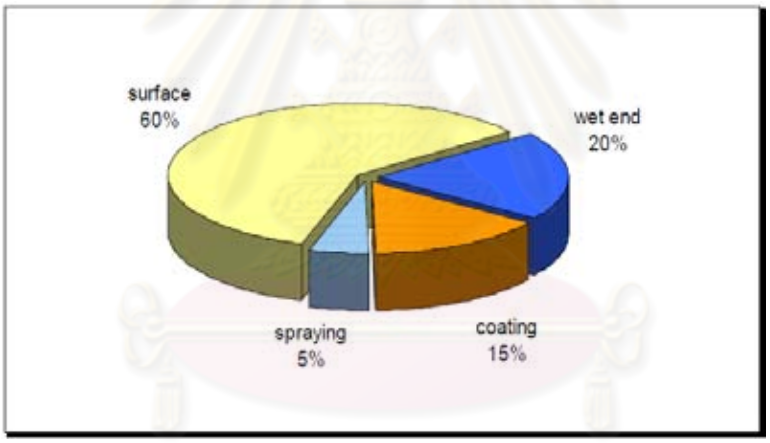


รูปที่ 1 แสดงกระบวนการหลักในการผลิตกระดาษ [10]



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนหลักในการผลิตกระดาษ [10]

2.2 การใช้แป้งในกระบวนการผลิตกระดาษ [4,7,9,11]



รูปที่ 3 แสดงสัดส่วนการใช้แป้งในกระบวนการผลิตกระดาษ [27]

จากรูปที่ 3 จะพบว่าในปี 2000 แป้งที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษส่วนใหญ่แล้วจะพบมากใน 3 ขั้นตอนหลักๆด้วยกัน ได้แก่

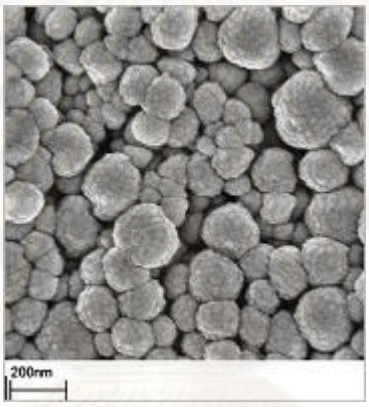
1.กระบวนการผลิตช่วงเปียก (wet end)

กระบวนการผลิตช่วงเปียกหมายถึงส่วนของกระบวนการผลิตที่เส้นใยและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เช่น เยื่อใยอ่อน (cellulosic fine) และผงแร่ (mineral filler) กระจายตัวอยู่ในน้ำปริมาณมาก โดยทั่วไปจะมีการเติมแป้งลงในกระบวนการผลิตช่วงเปียกเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มการตกค้าง (retention aid) ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและผงแร่จับตัวกันและคงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้การระบายน้ำ (dewatering) บนตะแกรงสายพานเดินแผ่นกระดาษเกิดได้ดีขึ้น แม้ว่าแป้งดิบ (native starch) จะสามารถใช้ในกระบวนการผลิตช่วงนี้ได้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้แป้งดัดแปรที่มีประจุบวกหรือที่เรียกว่าแป้งแคทไอออนิกมากกว่า โดยประจุบวกของแป้งแคทไอออนิกจะดึงดูดกับประจุลบของเส้นใยเซลลูโลสและผงแร่ได้ดี ซึ่งจะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเอง และระหว่างเส้นใยกับผงแร่ได้ดีขึ้น ทำให้มีปริมาณตกค้างของผงแร่คงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้นและกระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดิบแล้ว การใช้แป้งแคทไอออนิกจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและยังใช้ปริมาณที่น้อยกว่าด้วยแป้งแคทไอออนิกที่สำคัญทางการค้ามี 2 ประเภท ได้แก่ tertiary amino starch และ quaternary ammonium starch โดยแป้งชนิด quaternary ammonium starch จะมีประจุบวกในทุกระดับของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) แต่แป้งชนิด tertiary amino starch จะมีประจุบวกเฉพาะสภาวะที่อยู่ในช่วงของความเป็นกรดเท่านั้น ดังนั้นการใช้ประโยชน์ของ tertiary amino starch จึงมีข้อจำกัดมากกว่าประกอบกับ แนวโน้มของกระบวนการผลิตกระดาษที่มีการเปลี่ยนแปลงจากระบบที่มีสภาวะในช่วงกรดมาเป็นระบบที่มีสภาวะการผลิตในช่วงด่าง และยังมีการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้แป้งชนิด tertiary amino starch น้อยลงเรื่อยๆ

2.การฉาบผิวกระดาษ (surface sizing)

ในอุตสาหกรรมกระดาษมีการใช้แป้งมากที่สุดในขั้นตอนของการฉาบผิวกระดาษ การฉาบผิวหมาย ถึงกระบวนการที่แผ่นกระดาษวิ่งผ่านสารละลายของสารฉาบผิวกระดาษ แล้วจึงวิ่งผ่านลูกกลิ้ง ซึ่งจะทำหน้าที่กดอัดสารฉาบผิวเข้าไปในกระดาษและ ขณะเดียวกันก็จะช่วยรีดสารฉาบผิวที่มากเกินพอให้ออกจากผิวกระดาษ การฉาบผิวกระดาษมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงผิวกระดาษให้เรียบและแข็งแรงขึ้น เพื่อให้เหมาะกับงานเขียนและงานพิมพ์ ช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษ ความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่ใช้ในการฉาบผิวกระดาษอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2 – 15% ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องฉาบผิวที่ใช้และ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโดยทั่วไปแล้วแป้งดิบตามธรรมชาติมีความหนืดสูงมากเกินไปสำหรับใช้ในขั้นตอนการฉาบผิวกระดาษ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความหนืดของแป้งลงก่อนที่จะนำไปใช้ได้ ซึ่งการลดความหนืดของแป้งนี้อาจทำได้ที่โรงงานผลิตกระดาษเองโดยการใช้เอนไซม์หรือ ใช้ความร้อนร่วมกับสารเคมี (thermochemical conversion) อย่างไรก็ดีแป้งที่ลดความหนืดด้วยการลดขนาดโมเลกุลนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดการคืนตัว หรือที่เรียกว่ารีโทรเกรเดชั่น ซึ่งก็คือการที่โมเลกุลแป้งกลับมาจับตัวกันเองทำให้

ประสิทธิภาพในการเป็นสารฉาบผิวของแป้งลดลง อีกทางเลือกหนึ่งที่ทำได้คือการซื้อแป้งที่ผ่านการดัดแปรมาล่วงหน้าแล้วจากโรงงานผู้ผลิตแป้งดัดแปร แป้งออกซิไดซ์เป็นแป้งดัดแปรที่นิยมนำมาใช้ในการฉาบผิวกระดาษมากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีสมบัติในการเกิดฟิล์มได้ดีและมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำ อย่างไรก็ดีถ้ามีการนำกระดาษที่ฉาบด้วยแป้งออกซิไดซ์มาตีเป็นเยื่อและนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled) แป้งออกซิไดซ์ซึ่งมีประจุลบจะผลักผงแร่ (mineral filler) ให้เกิดการกระจาย ทั้งผงแร่และแป้งออกซิไดซ์เองจะไม่สามารถเกาะติดบนเส้นใยของเยื่อกระดาษได้ ทำให้เกิดการสูญเสียผงแร่และแป้งออกซิไดซ์ไปในน้ำทิ้งของโรงงานเกิดปัญหามลภาวะได้ แป้งดัดแปรที่มีการเติมหมู่ฟังก์ชั่นเข้าไปในโมเลกุลแป้ง เช่นแป้งอะซิเตท แป้งไฮดรอกซีเอทิล และแป้งแคทไอออนิกเริ่มเป็นที่นิยมสำหรับใช้เป็นสารฉาบผิวกระดาษมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกลุ่มนี้เกิดรีโทรเกรเดชั่นต่ำและไม่ทำให้เกิดการกระจายตัวหรือสูญเสียผงแร่ถ้ามีการนำกระดาษกลับมาผลิตเป็นเยื่อใช้ใหม่ อนุภาคของแป้งแสดงได้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อนุภาคขนาดนาโนของแป้งจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน [4]

3.การเคลือบผิวกระดาษ (paper coating)

การเคลือบผิวกระดาษ คือการนำส่วนผสมที่ประกอบด้วยผงแร่หรือที่เรียกว่า mineral pigment สารยึดติด (adhesive) และสารตัวเติมอื่นๆ มาเคลือบเป็นชั้นบางๆบนผิวกระดาษ ขั้นตอนนี้จะช่วยเพิ่มความขาวสว่าง ความเงา และความทึบแสงของกระดาษ ช่วยให้กระดาษมีพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ผงแร่เป็นส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการเคลือบผิวกระดาษ ผงแร่ที่นิยมใช้ได้แก่ ดินขาว (clay), แคลเซียมคาร์บอเนต, ไททาเนียมไดออกไซด์ และ talc ในขั้นตอนการเคลือบผิวกระดาษมีการใช้แป้งเพื่อทำหน้าที่เป็นสารยึดติดหรือเป็นกาว ช่วยให้ผงแร่ยึดเกาะกันและยึดติดกับแผ่นกระดาษได้ดีขึ้น แป้งที่ใช้ในขั้นตอนการฉาบผิวกระดาษตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่แล้ว สามารถนำมาใช้เป็นสารยึดติดในขั้นตอนการเคลือบผิวกระดาษได้เช่นกัน อย่างไรก็ดีแป้งสำหรับใช้ในขั้นตอนการเคลือบผิวนี้จำเป็นต้องมีความหนืดต่ำมากกว่าแป้งที่ใช้ในขั้นตอนอื่นๆทั้งหมดในกระบวนการผลิตกระดาษ ทั้งนี้เนื่องจากในการเตรียมส่วนผสม

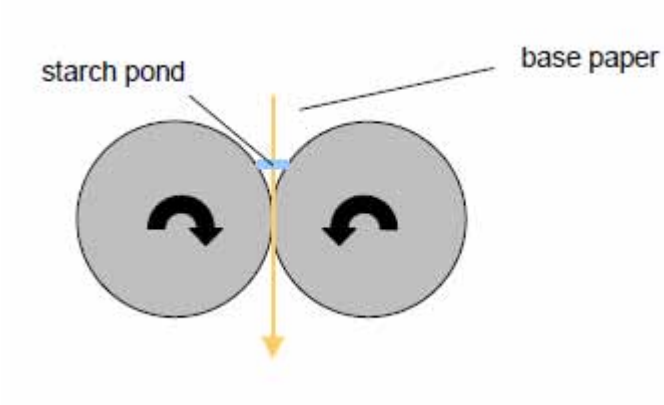
สำหรับเคลือบผิวกระดาษนั้นจำเป็นต้องเติมแป้งลงไปในปริมาณที่สูงมาก เพื่อจะได้มีแรงยึดเหนี่ยวสำหรับยึดติดผงแร่ได้มากพอ และในขณะเดียวกันส่วนผสมนี้ก็ควรที่จะยังคงเหลวพอที่จะเกลี่ยเป็นชั้นบางๆบนผิวกระดาษได้ การใช้แป้งออกซิไดซ์เพื่อเป็นสารยึดติดในการเคลือบกระดาษนั้น จะมีปัญหาเช่นเดียวกับกรณีของการฉาบผิวกระดาษตามที่ได้กล่าวไปแล้ว คือถ้ามีการนำกระดาษกลับมาตีเป็นเยื่อใช้ใหม่ ประจุลบของแป้งออกซิไดซ์จะทำให้เกิดการกระจายตัวของผงแร่และเกิดการสูญเสียผงแร่ไปในน้ำทิ้ง ดังนั้นความนิยมใช้แป้งออกซิไดซ์เพื่อเป็นสารยึดติดในการเคลือบกระดาษจึงลดลง แป้งไฮดรอกซีเอทิลถือเป็นแป้งที่ดีและเหมาะสำหรับใช้เป็นสารยึดติดในการเคลือบผิวกระดาษ เนื่องจากมีสมบัติในการเกิดฟิล์มที่ดีเยี่ยมและเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ต่ำมาก อย่างไรก็ดีแป้งชนิดนี้ยังมีราคาค่อนข้างสูง จึงไม่ค่อยนำมาใช้ในการผลิตกระดาษเกรดทั่วๆไป

2.3 กระบวนการฉาบผิวระดาษ (Size Press) [3,7]

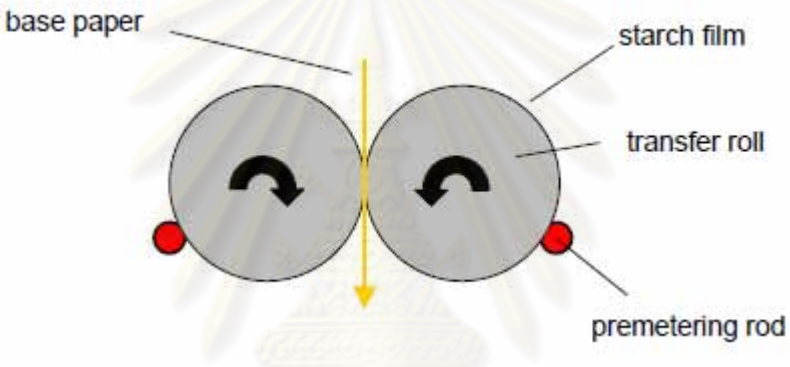
กระดาษที่ใช้ในการพิมพ์และเขียนจะต้องผ่านกระบวนการฉาบผิวเพื่อทำการปรับสภาพผิวหน้าด้วยเครื่องจักรที่ถูกเรียกว่า Size Press

<u>ประเภทของ Size Press</u> [6]

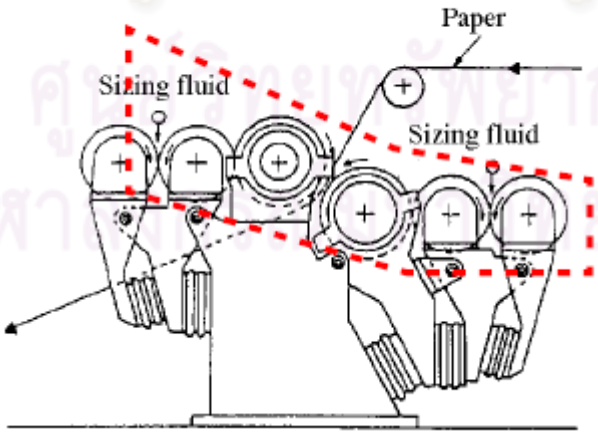
1. แบบแอ่งน้ำ (Pond type or Puddle type size press) ดังแสดงในรูปที่ 5
   มีลักษณะเป็นแอ่งอยู่ระหว่างลูกโรลทั้ง 2 ลูก ทำหน้าที่รองรับน้ำแป้งที่ผ่านการต้มสุกที่ถูกปล่อยลงแอ่งนั้น กระดาษจะเคลื่อนที่ผ่านแอ่งน้ำแป้งเพื่อเป็นการฉาบผิว ปรับสมบัติของผิวหน้ากระดาษ โดยแบ่งได้ 3 แบบ
   - แบบแนวนอน (Horizontal Type)
   - แบบแนวตั้ง (Vertical Type)
   - แบบเอียง (Inclined Type)
2. แบบควบคุมฟิล์ม (Metering size press) ดังแสดงในรูปที่ 6
   ลูกโรลทั้ง 2 ลูกจะรับน้ำแป้งสุกจากถาด หรือ โดยสามารถแบ่งได้ 2 แบบดังนี้
   - Sym-sizer : ลูกโรลรับน้ำแป้งสุกจากถาด และใช้ Rod หรือ Blade เป็นตัวควบคุมความหนาของฟิล์ม
   - Gate Roll : ลูกโรลรับน้ำแป้งสุกจากลูกตัก และใช้ Rod หรือ Blade เป็นตัวควบคุมความหนาของฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 5 Size Press แบบแอ่งน้ำ [27]



รูปที่ 6 Size Press แบบควบคุมฟิล์ม [27]



รูปที่ 7 Size Press แบบ Gate Roll [11]

ปัจจัยและผลที่สำคัญต่อการเคลือบผิว

1.ลักษณะของตัวแผ่นกระดาษ

- โครงสร้าง (Sheet Structure)
- ปริมาณของ Internal Sizing
- ความชื้น (Moisture Content)

2.ชนิดและลักษณะของแป้งหรือส่วนผสมของสารที่นำมาเคือบ

- ความหนืด (Viscosity)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- ความเข้มข้น (Solid Content)
- ความเสถียร (Starch Stability)

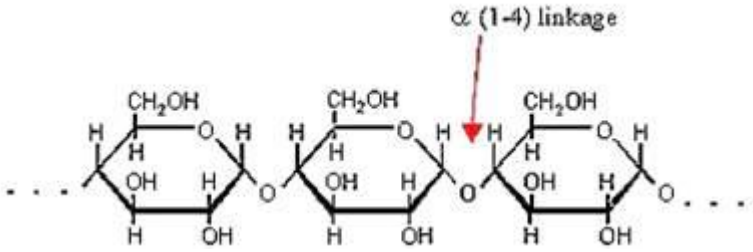
3.ชนิดของ Size Press และการกำหนดสภาวะของการเดินเครื่อง

- ความเร็ว (Operating Speed)
- แรงกด/ความแข็งของลูกกลิ้ง (Nip Pressure/Roll Hardness)

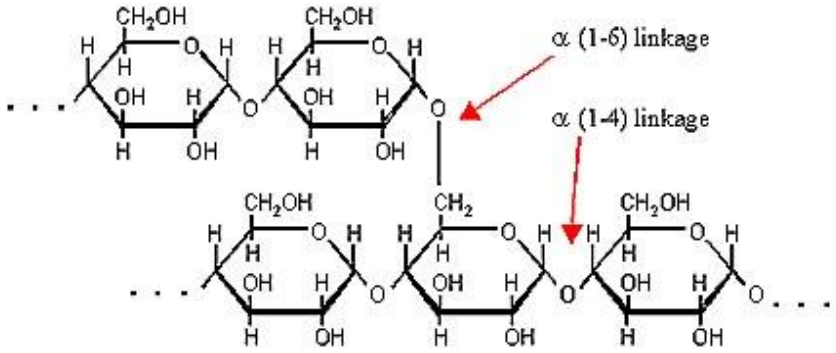
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งและชนิดของแป้งในการฉาบ

องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งมีหน่วย พื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลาย ที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง [18] โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่ง มีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย มีอยู่ในแป้งประมาณ 20-30% โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 8 และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และ มีกิ่งก้าน สาขามากมาย มีอยู่ในแป้งประมาณ 80% ของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α-1, 4-glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้าน หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glycosidic linkage [19] ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส [19]



รูปที่ 9 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน [19]

ชนิดของแป้งที่ใช้ในการเคลือบผิว [4]

แป้งที่ใช้ได้มาจากแหล่งวัตถุดิบจากธรรมชาติ ได้แก่ ข้าวโพด,มันฝรั่ง,มันสำปะหลัง,ข้าว ฯลฯ และข้อแตกต่างระหว่างแป้งแต่ละชนิดแสดงตามตารางที่ 1

1.แป้งชนิดอ็อกซิไดส์ (Oxidized starches)

มักเตรียมโดยใช้ alkaline hypochlorite ในสารแขวนลอยแป้ง ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้โมเลกุล แป้งเปลี่ยนแปลงไปโดยมีการเติมหมู่คาร์บอกซิล และคาร์บอนิลเข้าไปทำให้แป้งที่ได้ เกิดการคืนตัวน้อย หรือไม่เกิดการคืนตัวเลย ในขณะเดียวกันโมเลกุลจะถูกตัดด้วยทำให้แป้ง มีความหนืดลดลง ภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงลดลงมาก แป้งออกซิไดซ์มีการคืนตัวต่ำและให้สารละลายแป้งที่ใส [19]

2.แป้งชนิดอีเธอร์และเอสเทอร์ (Starch ethers and esters)

ที่สำคัญที่สุดคือแป้งไฮดรอกซีเอทิลและแป้งอะซีเทต เตรียมโดยทำปฏิกิริยาระหว่าง สารแขวนลอยแป้ง ในสภาพด่างกับ ethylene oxide หรือ acetic anhydride ที่ระดับการแทนที่ต่ำ (0.03-0.10) โมเลกุลแป้งไม่ถูกทำลาย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความหนืดสูง บางครั้งถ้าต้องการให้ ความหนืดลดลงอาจดัดแปรต่อด้วยกรด แป้งอีเทอร์และเอสเทอร์จะให้ฟิลม์ที่แข็งแรง [19]

3.แป้งที่เตรียมเองโดยใช้ (Converted starch) : เอนไซม์ (enzyme) หรือ แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Persulfate)

เตรียมโดยใช้เอนไซม์ a-amylase ย่อยแป้งสุกทำให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ดังนั้นความหนืดจะลดลง และละลายได้ง่ายขึ้น มีการใช้แป้งดัดแปรนี้ในอุตสาหกรรมกระดาษ [19]

2.5 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยแป้ง [23]

แหล่งของเอนไซม์สามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิดด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยแป้ง แบ่งออกได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

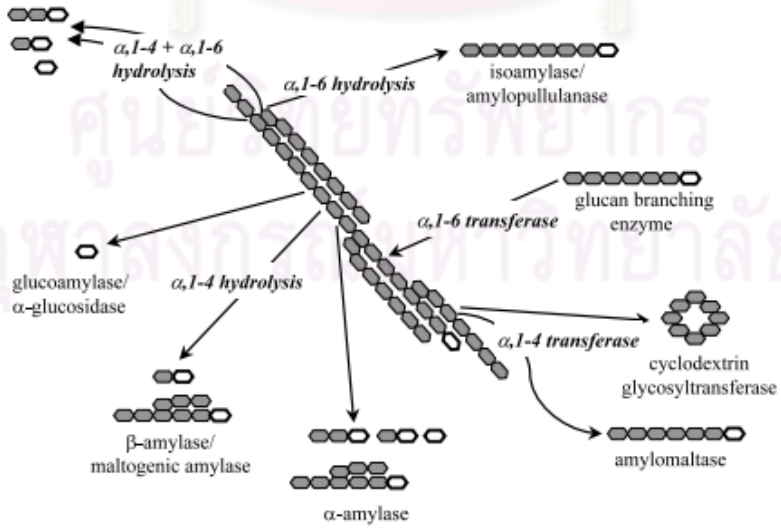
1.Endoamylase เป็นเอนไซม์ที่ทำงานภายในโมเลกุลของแป้ง จะตัดพันธะ α-1,4 กลูโคซิดิก ระหว่างโมเลกุลกลูโคสภายในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แอลฟาอะไมเลส และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำงานของแอลฟาอะไมเลส คือ oligosaccharide และ α-limit-dextrins

2.Exoamylase เป็นเอนไซม์ทั่ดพันธะที่จับกันของกลูโคสทั้งพันธะ α-1,4 และ α-1,6 กลูโคซิดิก เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ กลูโคอะไมเลส เบต้าอะไมเลส และ แอลฟากลูโคซิเดส ซึ่งการทำงานจะตัดโมเลกุลกลูโคสที่ตำแหน่งปลายของอะไมเลสและอะไมโลเพคติน ดังนั้น ผลที่ได้จะเป็นกลูโคสเพียงอย่างเดียว เมื่อใช้กลูโคสอะไมเลส และแอลฟาลูโคซิเดส หรือได้มอลโตส และ β-limit-dextrin เมื่อใช้เบต้าอะไมเลส

3.Debranching enzyme เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะ α-1,6 กลูโคซิดิก เอนไซม์กลุ่มนี้ ได้แก่ ไอโซอะไมเลส และ พูลูแลนเนส การทำงานของเอนไซม์กลุ่มนี้โดยการย่อยของพันธะกิ่งของอะไมโลเพคติน หรือการย่อยพันธะ α-1,6 กลูโคซิดิก ในพูลูแลน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นโพลีแซคคาไรด์

4.Tranferase เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่จับ α-1,4 กลูโคซิดิก ของ donor molecule จะเปลี่ยนส่วนของ donor เพื่อเป็น gylcosidic acceptor ซึ่งเป็นการสร้างพันธะกลูโคซิดิกใหม่ เอนไซม์กลุ่มนี้ได้แก่ amylomaltase และ cyclodextrin glucosyltransferase (CGTase) ซึ่งจะใช้ในการผลิตไซโคลเดกทรินโดยการสร้างเป็น cyclic aligosaccharide ที่มีโมเลกุล 7-8 หน่วย

ตำแหน่งการตัดพันธะของเอนไซม์ทั้ง 4 กลุ่มสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10 [26]



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งการตัดพันธะของเอนไซม์ทั้ง 4 กลุ่ม [26]

ตารางที่ 1 เอนไซม์ : แหล่งของจุลินทรีย์และคุณสมบัติบางประการ [23]

Microbial sources	Molecular weight	Optimum temp. (ºC)
Bacillus subtilis	41,000	
B.amyloliquefaciens	49,000	70
B.licheniformis	62,000	90
B.cereus	35,000	50
B.circulans	53,000-63,000	60
Pseudomonas sp. BQ 6	37,000	45-55
Aspergillus awamori	83,700-88,000	60
A.niger I	99,000	
A.oryzae I	76,000	60
A.oryzae II	38,000	40
Penicillium oxalicum I	84,000	55-60
Rhizopus delemar	100,000	40
Aerobacter aerogenes	1,143,000	50
B.polymyxa	48,000	60
Streptomyces sp.no.280		5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 กลไกการย่อยแป้ง (Hydrolysis) และกระบวนการที่ใช้ในย่อยแป้ง

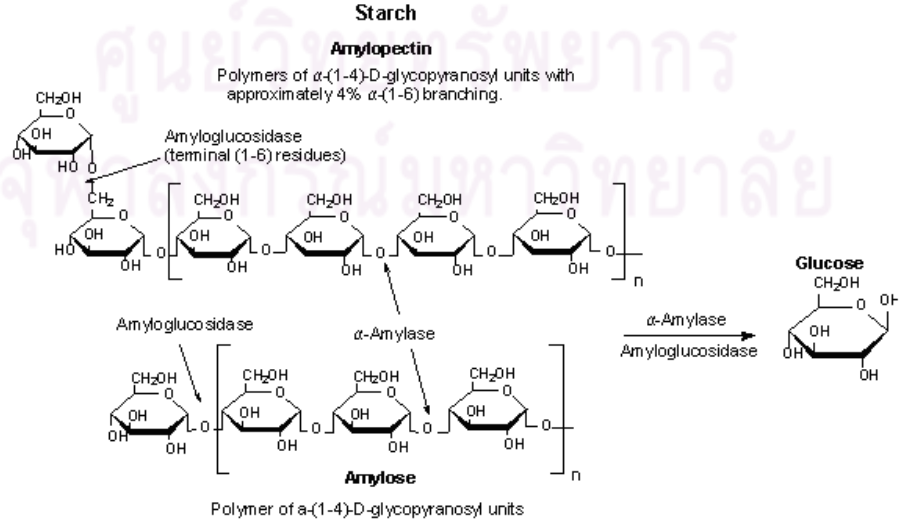
กลไกการย่อยแป้ง

แป้งจะเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เมื่อนำมาผ่านกระบวนการย่อยโดยใช้ enzyme จากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น น้ำย่อยจากเชื้อราในลูกแป้ง หรือน้ำย่อยทางการค้า เป็นต้น ในขั้นตอนการย่อยแป้งนี้ จะเป็นการทำงานของเอนไซม์เพื่อให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยแป้งโดยทั่วไปประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ [23]

1.การเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการทำให้แป้งพองตัว โดยเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำขณะที่ได้รับความร้อนทำให่เม็ดแป้งพองตัว เรียกอุณหภูมิช่วงนี้ว่า อุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature)

2.การเกิดลิเคอแฟคชั่น (liquefaction) เป็นขั้นตอนการลดความหนืดของน้ำแป้ง โดยการย่อยจะเป็นการย่อยแบบสุ่มของสายโซ่กลูโคส เกิดการแยกเป็นสายสั้นๆ ขนาดโมเลกุลของแป้งเล็กลงและความหนืดลดลง ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอ็นไซม์กลุ่มแอลฟาอะมิเลส (alpha-amylase) ย่อยแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 95-100°C ของเหลวที่ได้จะมีค่าสมมูลเด็กโทรส (Dextrose equivalent, DE) อยู่ในช่วง 10-15% เรียกว่า มอลโตเด็กซ์ทริน (Maltodextrin) ดังรูปที่ 11

3.การเกิดแซคคาริฟิเคชัน (Saccharification) เป็นขั้นตอนการย่อยแป้งเป็นโมเลกุลของน้ำตาล ภายหลังการย่อยจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือน้ำตาลที่มีโมเลกุลมากกว่า สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งควรมีสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent, DE) สูง ยีสต์จึงจะทำงานได้ดี ขั้นตอนนี้จะใช้ เอ็นไซม์กลูโคอะมิเลส (glucoamylase) เข้าไปย่อยให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำย่อยสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 60°C เมื่อสิ้นสุดการย่อยจะให้ความร้อนเพื่อหยุดกิจกรรม เอ็นไซม์และฆ่าเชื้อที่อาจปนเปื้อนก่อนที่จะเข้ากระบวนการหมักยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์เมื่ออยู่ในสภาพปราศจากอากาศ (หรือมีอากาศจำกัด)



รูปที่ 11 แสดงกลไกการย่อยแป้งในขั้นตอนลิเคอแฟคชั่น [26]

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแป้งแต่ละชนิด [4]

ชนิดแป้ง	ข้อดี	ข้อเสีย
แป้งอ็อกซิไดส์	-แป้งไม่เกิดการคืนตัว -กากน้อย -เพิ่มความแข็งแรงของระดาษได้มาก -การซึมผ่านกระดาษดี -สร้างตัวเป็นฟิล์มที่ผิวหน้ากระดาษได้ดี	-ราคาปานกลาง -กระจายตัวอยู่ในช่วง wet end ขัดขวาง filler -ค่า BOD ในระบบสูง -ทำให้ความทึบแสงของกระดาษลดลง
แป้งอีเธอร์และเอสเทอร์	-สร้างตัวเป็นฟิล์มที่ผิวหน้ากระดาษได้ดี (ช่วยให้ความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษดีกว่าการใช้แป้งอ็อกซิไดส์) -ไม่มีประจุ -แป้งไม่เกิดการคืนตัว -ไม่กระจายใน wet end -กากน้อย	-ราคสูง -ค่า BOD ในระบบสูง
แป้งที่เตรียมเอง	-ราคาต่ำ -สามารถตัดพันธะของแป้งได้ตามความต้องการด้วยการลดความหนืด	-กากมากเนื่องจากการแปรรูปโดยใช้เอนไซม์ -มีแนวโน้มที่แป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

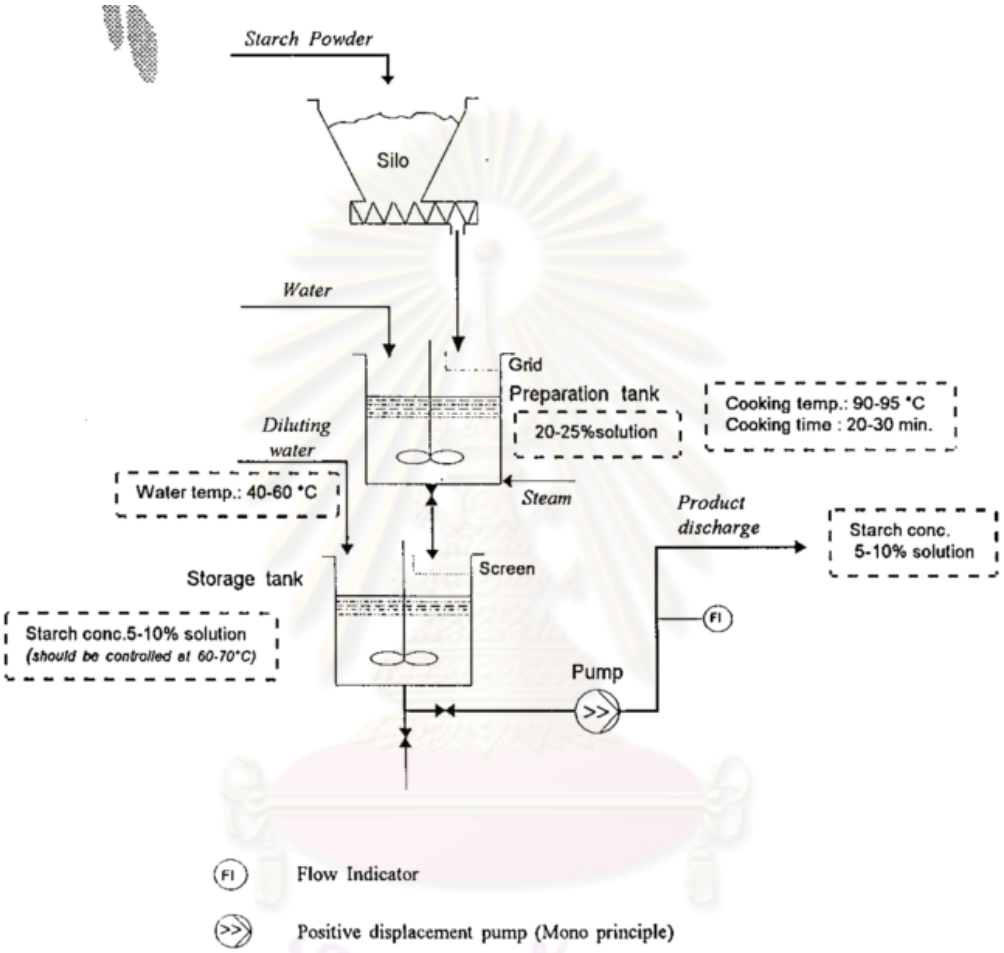
กระบวนการย่อยแป้งครั้งแรก (Liquefaction) [4]

กระบวนการย่อยแป้งเป็นกระบวนการเตรียมแป้งเพื่อใช้ในการฉาบผิวกระดาษ กระบวนการย่อยแป้งที่นิยมใช้ในปัจจุบันนิยมใช้การต้มโดยใช้เอนไซม์ มี 2 ระบบ ดังต่อไปนี้

1.ระบบการย่อยแป้งแบบกะ (Batch Cooking System)

กระบวนการย่อยแป้งแบบกะเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ตั้งแต่ยุคแรกๆ ในการผลิตกระดาษ ขั้นตอนการย่อยแสดงดังรูปที่ 12 และ ระบบการเตรียมดังรูปที่ 13 ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยแป้ง จะเกิดจากไอน้ำร้อน ไอน้ำร้อยจะค่อยๆปรับอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยขึ้นจากอุณหภูมิปกติเป็นอุณหภูมิที่กำหนด

รูปที่ 12 แสดงขั้นตอนการย่อยแป้งแบบกะ [4]

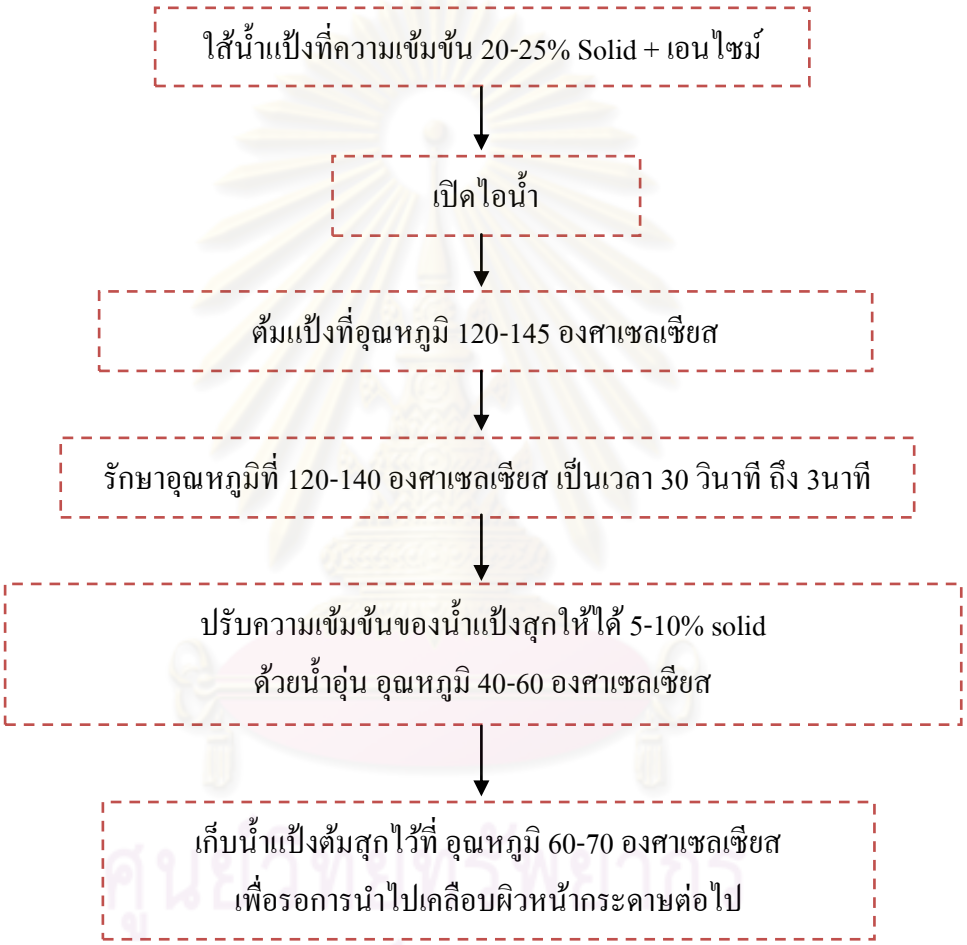


รูปที่ 13 การเตรียมแป้งโดยใช้ระบบการย่อยแบบกะ [4]

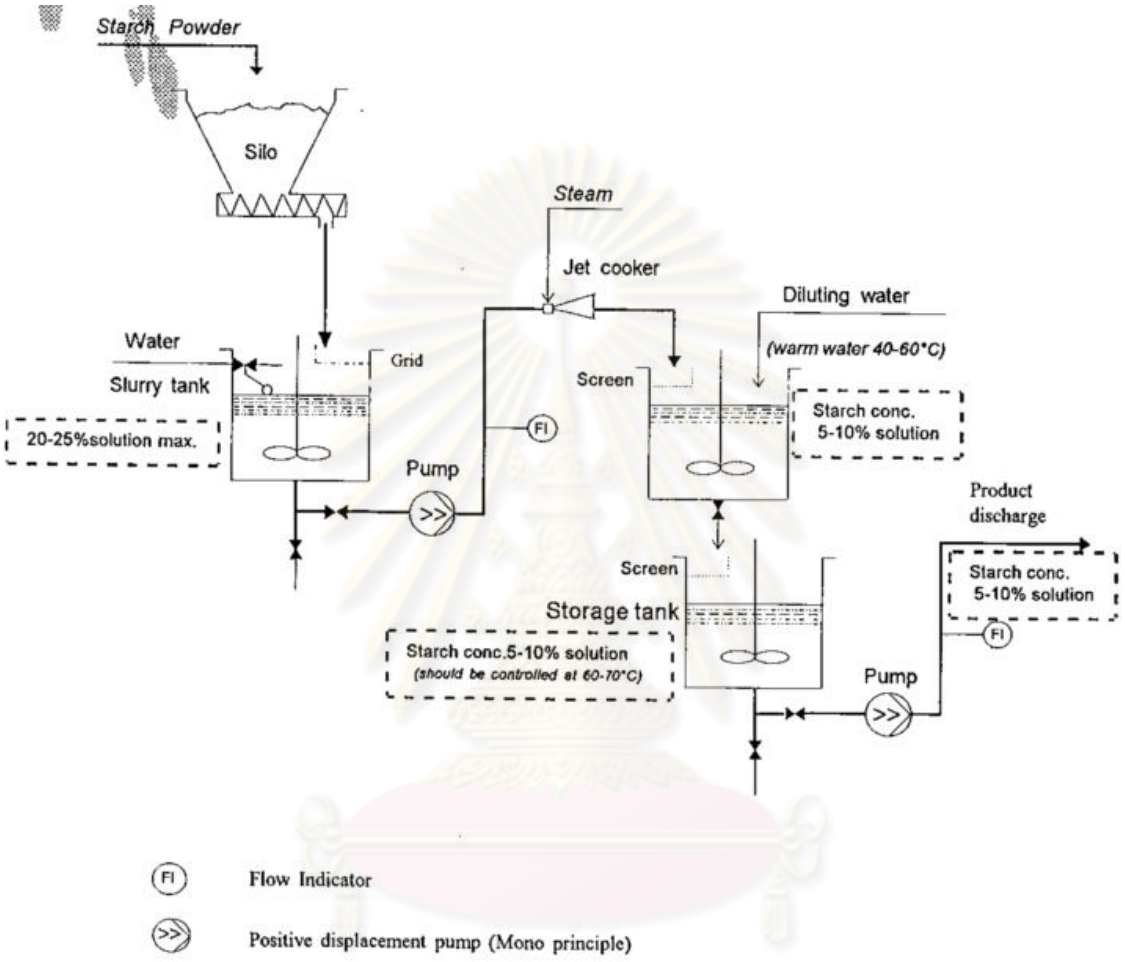
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.ระบบการย่อยแป้งแบบต่อเนื่อง (Jet Cooking System)

ระบบการย่อยแป้งแบบต่อเนื่องเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพของน้ำแป้งได้ดีกว่า ใช้อุณหภูมิในการย่อยที่คงที่ ไม่ต้องปรับอุณหภูมิขึ้นจากอุณหภูมิปกติ ขั้นตอนการย่อยแสดงดังรูปที่ 14 และ การเตรียมการย่อยแบบต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 15 แต่ระบบนี้มีข้อจำกัดคือต้องใช้ปริมาณน้ำแป้งในการฉาบอย่างต่อเนื่อง โรงงานเล็กๆจึงไม่เหมาะที่จะใช้



รูปที่ 14 แสดงขั้นตอนการย่อยแป้งแบบต่อเนื่อง [4]



รูปที่ 15 การเตรียมแป้งโดยใช้ระบบการย่อยแบบต่อเนื่อง [4]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 **ความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ** (Surface Strength)

ความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษมีความสำคัญมากกับกระดาษที่นำไปใช้ในงานพิมพ์ เนื่องจากการลงหมึกในระหว่างการพิมพ์จะมีทั้งแรงกดและแรงดึงที่ผิวหน้ากระดาษ ซึ่งขนาดของแรงดึงจะขึ้นกับ tackiness ของหมึก และความเร็วของการพิมพ์ ถ้าผิวหน้ากระดาษไม่มีความแข็งแรง จะทำให้เกิดการลอกของผิวขึ้น โดยการทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษในปัจจุบันนั้นนิยมใช้ [2] ได้แก่

1.wax pick เป็นการใช้ขี้ผึ้งเบอร์ต่างๆ ที่มีความพลังในการติดต่างกันติดลงไปที่กระดาษประมาณ 15 นาทีและดึงออก ยิ่งขี้ผึ้งเบอร์สูง แรงการติดก็จะมาก โดยขี้ผึ้งที่ใช้ในการทดสอบจะมีตั้งแต่เบอร์ 2 จนถึงเบอร์ 26 การทดสอบแบบนี้ใช้การแพร่หลาย แต่ยังไม่มีความสำพันธ์กับแรงกดและดึงจากการพิมพ์มากนัก แสดงดังรูปที่ 16

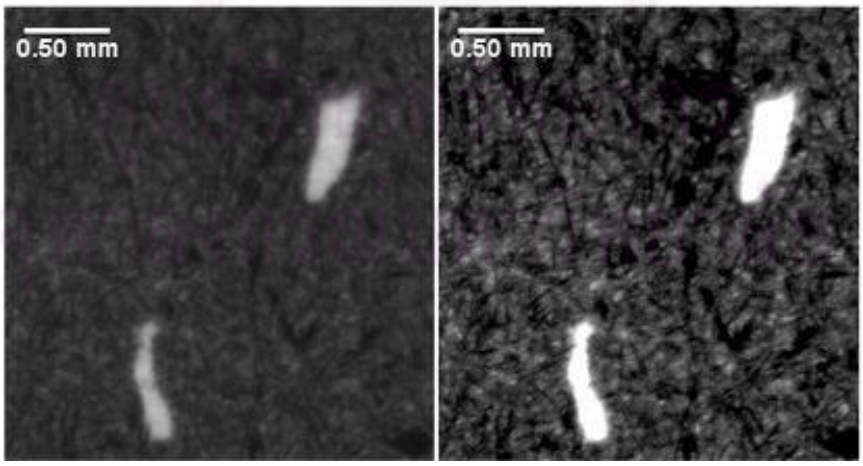
2.IGT printability tester, LTF Picking test, the Hurcules-Brookfiled print tester, The waldon pick tester เป็นการจำลองการพิมพ์ การป้อนหมึก แรงกด และแรงดึง จากการพิมพ์ในโรงพิมพ์ วิธีนี้จึงเป็นที่ยิยมมากกว่า wax pick แสดงดังรูปที่ 17

รูปที่ 16 wax pick test [2]

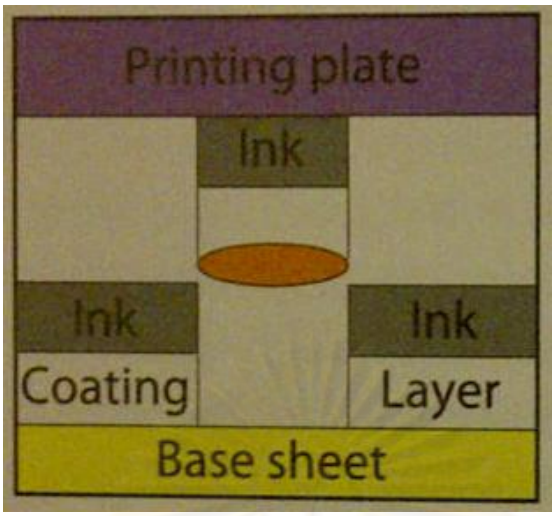
รูปที่ 17 IGT Tester [2]

2.7 ปัญหาการถอนผิว picking

Picking เป็นปัญหาการถอนผิวที่เกิดจากแรงดึงในขั้นตอนการพิมพ์ โดยส่วนที่ถูกดึงออกมาจะเป็นท่อลำเลี้ยงน้ำของพืชที่นำมาทำเยื่อกระดาษ การถอนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 18 และรูปที่ 19 จะแสดงลักษณะการถอนในแนวภาพตัดขวาง ซึ่งจะเห็นว่าการถอนจะเกิดในช่วงรอยต่อระหว่างชั้นของน้ำยาเคลือบผิวกับผิวหน้ากระดาษ และแรงในการดึงผิวหน้ากระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนืดของหมึกที่ใช้ในการพิมพ์ การป้องกันการเกิดปัญหานี้จึงเป็นการทำที่ให้ผิวหน้ากระดาษมีความแข็งแรงมากที่สุด การทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้าเพื่อป้องการปัญหา picking ส่วนมากจะใช้วิธีตาม TAPPI T459 [8]



รูปที่ 18 แสดงภาพปัญหา picking ที่เกิดบนผิวหน้ากระดาษ [8]



รูปที่ 19 แสดงลักษณะการถอนผิวกระดาษด้วยภาพตัดขวาง [8]

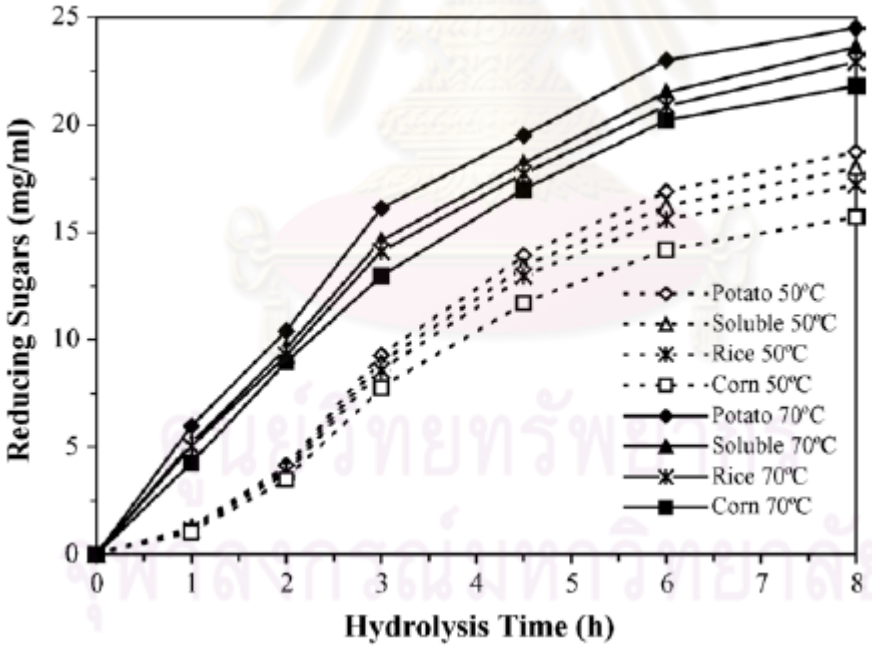
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะแบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์และความร้อน ส่วนที่สองเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการย่อยแป้ง

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์และความร้อน

ปี ค.ศ.2005 Zoe Konsoula [12] ได้ทำการศึกษาการย่อยแป้งจาก ข้าว, มันฝรั่ง และข้าวโพด ด้วยเอนไซม์ประภท α-amylase ที่ถูกตรึงอยู่ใน Calcium alginate gel แคปซูล โดยใช้ระบบการต้มแบบกะปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งที่ 2 อุณหภูมิ แป้งมันฝรั่งสามารถย่อยแป้งไปเป็นน้ำตาลได้สูงที่สุด โดยวัดจากค่า Reducing Sugar รองลงมาเป็นแป้งข้าวจ้าว และ แป้งข้าวโพด และที่ 70 องศาเซลเซียสพบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสูงกว่าที่ 50 องศาเซลเซียส และเอนไซม์ที่ถูกตรึงใน Calcium alginate gel แคปซูล ทำให้เกิดการย่อยน้อยกว่าการใช้เอนไซม์แบบอิสระ แสดงดังรูป 20



รูปที่ 20 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่การย่อย 50 และ 70 องศาเซลเซียส ของแป้งชนิดต่างๆ [12]

ปี ค.ศ.2007 Stephen O'Brien [13] ศึกษาการแช่แป้งที่อุณหภูมิมากกว่า Tg แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้ง ที่เวลาต่างๆ ก่อนนำมาทำการย่อย จากการศึกษาพบว่าการแช่แป้งในน้ำที่มีการแช่ในลักษณะนี้จะเกิดการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลใหม่ และในการย่อยใช้เอนไซม์ α-amylolysis และ Glucoamylolysis พบว่า เปอร์เซ็นต์การย่อยแป้งได้ผลตามตารางที่ 3

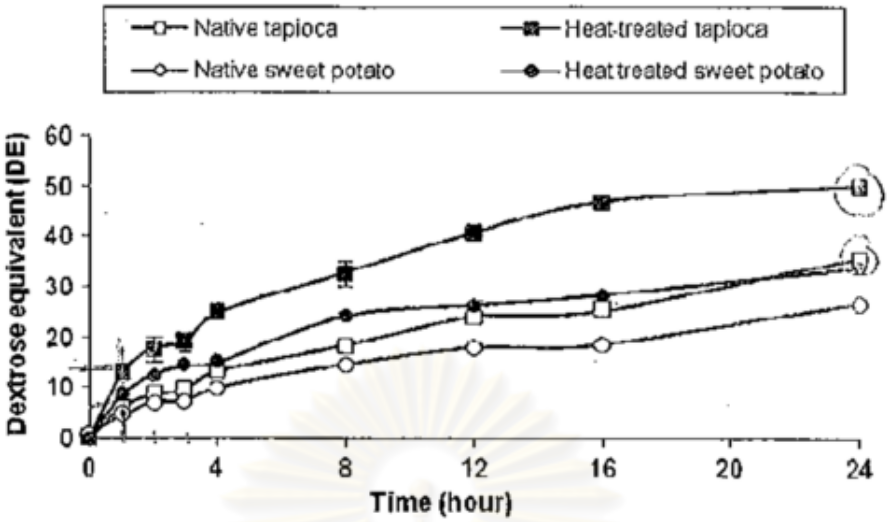
ตารางที่ 3 แสดง %การย่อยของแป้ง และแป้งที่ผ่านการแช่ที่อุณหภูมิสูงกว่า Tg ของแป้ง [13]

Degree of hydrolysis (%) of native and annealed starches by α-amylase and glucoamylase*

	Duration (h)	α-Amylolysis		Glucoamylolysis	
		Native	Annealed	Native	Annealed
Waxy corn	5	13.6^{c}	18.6^{b}	39.7^{a}	44.8^{a}
	15	21.1^{c}	22.5^{b}	56.2^{a}	59.2^{a}
	36	30.0^{b}	30.6^{b}	66.7^{a}	67.6^{a}
Common corn	5	12.5^{c}	18.7^{b}	25.6^{a}	29.0^{a}
	15	21.6^{b}	24.9^{b}	39.0^{a}	42.9^{a}
	36	26.9^{d}	27.7^{c}	48.7^{b}	52.6^{a}
Hylon V	5	8.2^{b}	13.2^{a}	11.3^{ab}	11.9^{ab}
	15	12.0^{c}	15.3^{b}	20.9^{a}	21.2^{a}
	36	13.6^{c}	16.0^{b}	26.3^{a}	26.3^{a}
Hylon VII	5	5.9^{b}	8.7^{a}	7.2^{a}	8.5^{a}
	15	9.3^{c}	11.9^{b}	15.3^{a}	15.8^{a}
	36	11.1^{d}	13.3^{c}	21.1^{a}	20.2^{b}
Potato	5	3.3^{b}	10.2^{a}	1.8^{b}	11.2^{a}
	15	7.7^{b}	14.2^{a}	4.7^{c}	14.1^{a}
	36	12.2^{b}	15.9^{a}	11.3^{b}	15.6^{a}

* Means of two measurements followed by a common letter in the same row are not significantly different ($p < .05$).

ปี ค.ศ.2008 Y.N.Shariffa [14] ศึกษาการย่อยแป้งด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกัน 2 ตัว คือ Fungal α-amylase และ glucoamylase และปรับสภาพแป้งที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าค่า Dextrose equivalent (DE) ของแป้งที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าสูงกว่าแป้งธรรมชาติ เนื่องมาจากการปรับสภาพแป้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 21 ทำให้แป้งมีความอ่อนตัวง่ายต่อการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 21 แสดงค่า DE ของแป้งธรรมชาติ และแป้งที่ผ่านการปรับสภาพ [14]

ปี ค.ศ.2009 Sakina Khatoon [15] ศึกษาการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ ที่สภาวะต่างๆ โดยศึกษาแป้งข้าวโพด, แป้งมันสำปะหลัง, แป้งข้าวจ้าว ที่ 10% 15% 20% solid โดยต้มด้วยระบบการต้มแบบกะที่อุณหภูมิ 95 องสาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะพบปริมารน้ำตาลสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาเซลเซียสการเปลี่ยนรูปไปเป็นน้ำตาลมีอัตราลดลง 95 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์ และในส่วนของการหาค่า DE พบว่าแป้งมันสำปะหลังให้ค่า DE สูงที่สุด โดยที่ความเข้มข้นแป้ง 10% 15% และ 20% ให้ค่า DE อยู่ที่ 10.2, 8.2, 5.2

ปี ค.ศ.1999 Zhang, Oates [16] ได้รายงานว่า การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพคติน,โครงสร้างผลึก และขนาดอนุภาคของแป้ง ในปัจจัยต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น จะพบว่าโครงสร้างผลึกมีความสำคัญมากที่สุด และการให้ความร้อนจะทำให้โครงสร้างภายในที่มีรูปร่างไม่แน่นอนของแป้งเกิดการย่อยได้ดีกว่า โครงสร้างที่เป็นผลึก

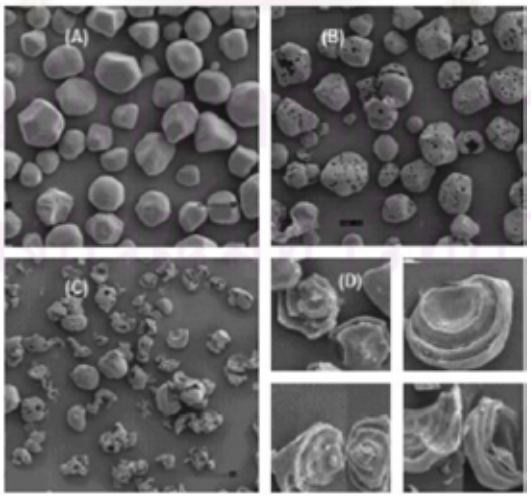
ปี ค.ศ.2002 Gunaratne and Hoover [17] ได้ทำการศึกษาพบว่าการให้ความร้อนและความชื้นจะช่วยให้ส่วนโครงสร้างที่เป็นผลึกของแป้งแยกออกจากส่วนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ทำให้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เข้าไปย่อยได้ดีขึ้น โดยได้ทำการทดลองที่ ความชื้นของแป้ง 30%,อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ,เวลา 10 ชั่วโมงเพื่อปรับโครงสร้างของแป้ง และแป้งที่ทำการทดลอง คือ แป้งเผือก,แป้งมันสำปะหลัง

ปี ค.ศ. 1996 สุนีย์ โชตินีรนารถ [20] ได้ทำการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 4 ชนิด Tenase, Kleistase, Amano และ Termamyl ในการย่อยแป้งมันสำปะหลังสุก โดยใช้แป้งที่ความเข้มข้น 30% และเอนไซม์ 0.02 ไมโครลิตร ย่อยเป็นเวลา 15 นาที พบว่า pH ที่เหมาะสม คือ 6 และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 70 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เอนไซม์ Tenase และ Kleistase ส่วน เอนไซม์ Amano และ Termamyl อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยอยู่ที่ 85 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษาของกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส 4 ชนิด [20]

Types of enzyme	Temperature (ºC)	K_m (g starch/100 ml)	V_{max} (µg reducing sugar/min)
Tenase	70	0.28	88.50
Kleistase	70	0.93	344.83
Amano	85	0.14	106.38
Termamyl	90	0.09	62.11

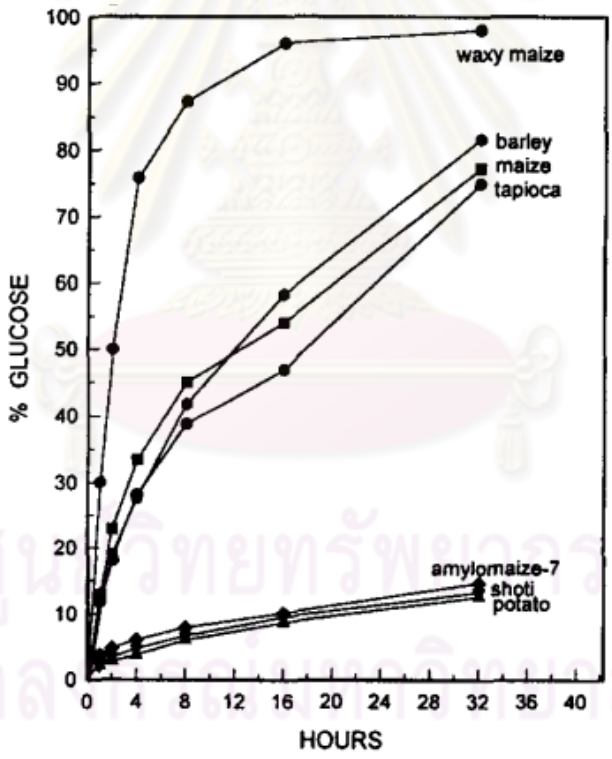
ปี ค.ศ. 2010 Anthony C. Dona [22] ได้ทำการศึกษาและรวบรวมวิธีการตรวจสอบโครงสร้างภายในของแป้งที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์และความร้อน พบว่า สามารถมองเห็นโครงสร้างภายในของแป้งที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ตามวิธีดังนี้ light microscopy, laser scanning microscopy, SEM ซึ่งวิธีต่างๆนั้นจะทำให้มองเห็นรูเล็กๆ,การกร่อน และ รูขนาดใหญ่ที่เกิดกับเม็ดแป้ง ส่วนแป้งที่มีส่วนของอะไมโลสจำนวนมาก บริเวณที่โครงสร้างไม่มีรูปแบบจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์เหลือไว้แต่ส่วนที่เป็นผลึก จะศึกษาโครงสร้างด้วย SEM, Small angle X-ray scattering (SAXS), infrared spectroscopy, NMR,XRD ดังรูปที่ 22 เป็นการส่องอนุภาคของแป้งด้วย SEM



รูปที่ 22 โครงสร้างภายในของแป้งที่ถ่ายภาพด้วย SEM [22]

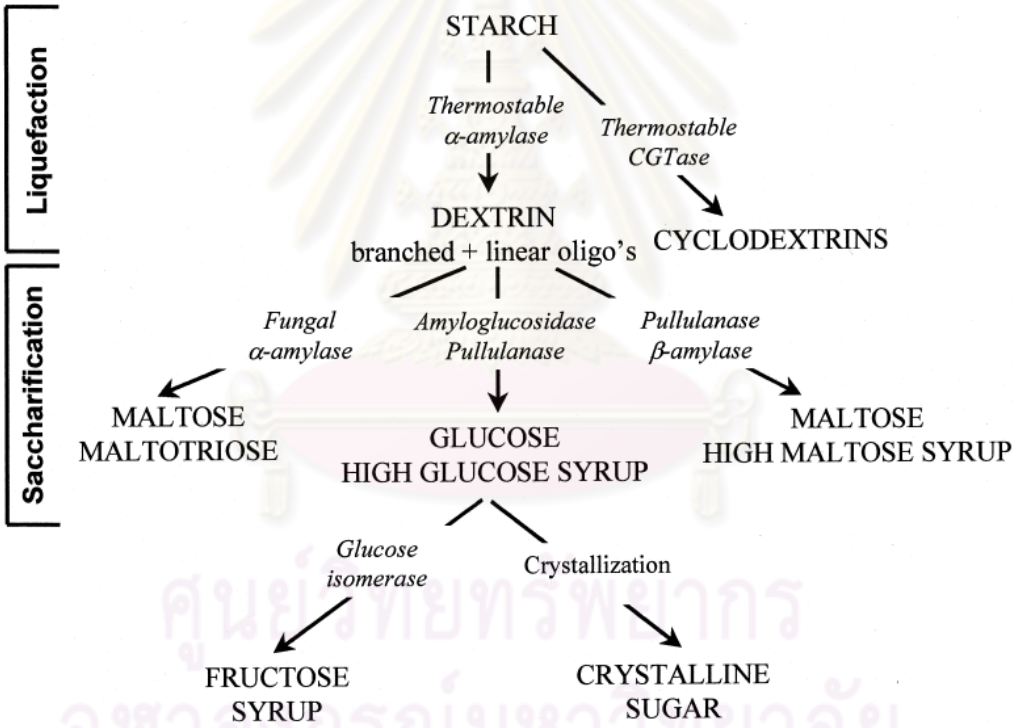
ปี ค.ศ.2008 Vieira and Sarmento [24] ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนและความชื้นกับแป้งที่ได้จากแครอท, แป้งมันสำปะหลัง และแป้งที่ได้จากขิง ซึ่งได้ทำการรายงานออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของการย่อยใช้เวลาในการย่อย 24 hr ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส จากการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยที่ได้ คือ 29%, 5% และ 22% ตามลำดับ

ปี 1995 Atsuo Kimura [25] ทำการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับเอนไซม์ กลูโคสอะไมเลส ที่ความเข้มข้น 2,20,200 units/ml โดยทำการทดลองกับแป้งข้าวโพด, บาเลย์,มันสำปะหลัง,มันฝรั่ง ใช้เวลาในการศึกษาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงถึง 32 ชั่วโมง อุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส และวัดค่าน้ำตาลที่เกิดขึ้นด้วยวิธีฟีนอล-ซัลฟูริก จากการทดลองพบว่าแป้งที่ผ่านการปรับสภาพตามสภาวะข้างต้น จะให้ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่งขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยแป้งมันสำปะหลังจะให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงที่สุดอยู่ที่ 75-80% ที่การใช้ปริมาณเอนไซม์ 200 units/ml ดังแสดงตามรูปที่ 23 และศึกษาอนุภาคของแป้งด้วย SEM (Scanning electron microscopy)



รูปที่ 23 แสดงปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากแป้งชนิดต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์ 200 units/ml ที่เวลาต่างต่างๆ [25]

ปี 2001 Marc J.E.C. [26] ทำการศึกษาคุณสมบัติและการนำไปใช้งานของแป้งที่ถูกดัดแปลงด้วยเอนไซม์ในกลุ่มแอลฟาอะไมเลส จากผลการวิจัยต่างๆ พบว่า กลุ่มเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เป็นกลุ่มที่มีความหลากหลาย การใช้งานแตกต่างกัน พบว่ามีมากกว่า 21 ตัว แต่จะสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ใช้ในการย่อยแป้ง และใช้ในการปรับคุณสมบัติของแป้ง และในปัจจุบันพบว่าการย่อยแป้งด้วยกรดแทนเอนไซม์กลุ่มนี้เป็นที่นิยมมากขึ้น ส่วนการใช้งานของเอนไซม์ที่ได้รับการศึกษาขึ้นใหม่นั้นเป็นการใช้เอนไซม์เพื่อป้องกันการคืนตัวของแป้งในการทำขนม และชนิดของเอนไซม์ที่นิยมในการปรับคุณสมบัตอของแป้งนั้น คือ clodextrin glycosyltransferase สำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับอาหาร และจากการศึกษาการใช้งานของเอนไซม์กลุ่มแอลฟาอะไมเลสในอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถจำแนกได้แสดงดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 แสดงสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอนไซม์ชนิดต่างๆ [26]

ปี 1996 Atsuo Kimura [27] ศึกษาปฏิกิริยาของเอนไซม์ประเภท isoamylase กับอนุภาคของแป้ง native และแป้งที่เริ่มเกิดเจล (เตรียมที่อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งแต่ละชนิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง) โดยศึกษากับแป้งหลากหลายชนิด เช่น แป้งข้าวโพด, แป้งมันเทศ ฯลฯ พบว่า เอนไซม์ amyloderamasa isoamylase จะทำการย่อยแป้งที่ตำแหน่งพันธะ 1,6 ของอะไมโลเพคติน ซึ่งเหมือนกับเอนไซม์ glucoamylase ศึกษาปฏิกิริยาของเอนไซม์ isoamylase กับแป้งปกติ ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 ชั่วโมง พบความแตกต่างตามตารางที่ 5 จะเห็นว่าแป้ง Shoti และ Amylomaize-7 มีเปอร์เซ็นต์การย่อยมากที่สุดเนื่องจากมีมวลโมกุลต่ำ และมีโครงสร้างสั้นกว่าแป้งชนิดอื่น ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์การย่อยอยู่ที่ 3.6 และจากการศึกษาการย่อยแป้งปกติและแป้งที่ผ่านการเตรียมที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 144 ชั่วโมง พบว่าเปอร์เซ็นต์การย่อยของแป้งที่ที่ถูกทำให้เกิดเจลนั้นจะมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสูงกว่าแป้งปกติ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยของแป้งด้วยเอนไซม์ 10 IU/mL ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 32 ชั่วโมง [27]

Reaction of native starch granules with 10 IU/mL isoamylase at 37 °C for 32 h

Starch	% In supern. [a,b]	% In granule [a,b]	% Total reaction [b,c]
Tapioca	61.1	38.9	3.6
Potato	68.2	31.8	3.7
Barley	75.8	24.2	6.2
Maize	43.8	56.2	7.3
Waxymaize	64.1	35.9	7.8
Shoti	47.4	52.6	11.6
Amylomaize-7	56.3	43.7	11.9

ตารางที่ 6 แสดงแสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยของแป้งด้วยเอนไซม์ 10 IU/mL ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 144 ชั่วโมง [27]

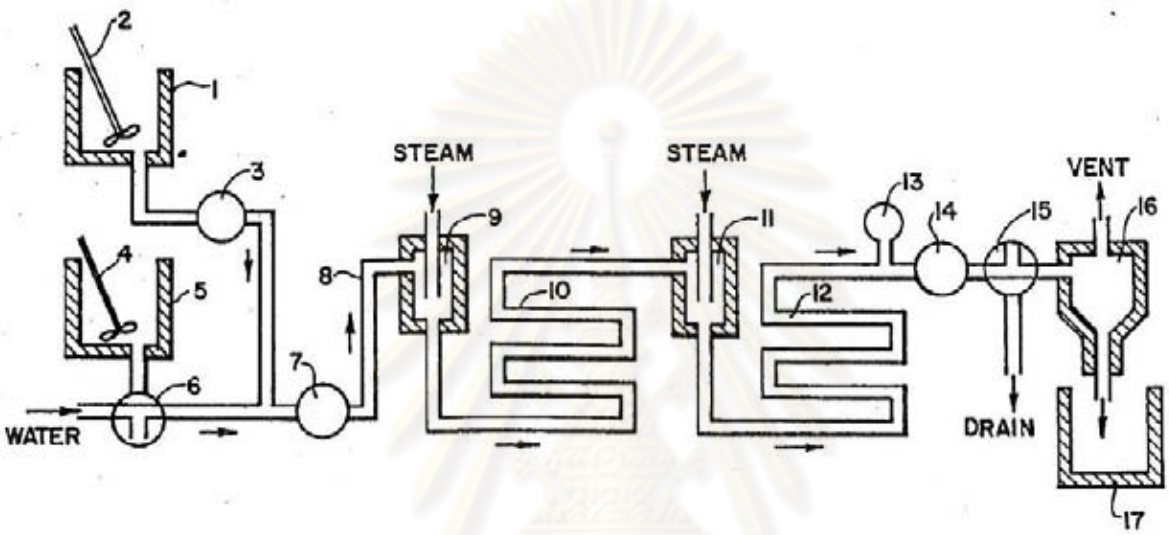
Reaction of gelatinized starch granules with 10 IU/mL isoamylase at 45 °C for 144 h

Starch	% Reaction of gelatinized granules [a,b]	% Reaction of native granules [a,b,c]
Potato	56.2	3.7
Amylomaize-7	36.4	11.9
Shoti	21.8	11.6
Waxymaize	36.4	7.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการย่อยแป้ง

ปี ค.ศ. 1990 T.L.Gallaher et al. [21] ระบบการต้มแป้งที่ทำการศึกษานี้เป็นแบบต่อเนื่องใช้เอนไซม์และเพิ่มความร้อนให้กับระบบเพื่อให้เม็ดแป้งเกิดลักษณะเป็นเจลและกักเก็บไว้จนได้ความหนืดของแป้งตามที่ต้องการ แล้วจะเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ T.L.Gallaher ได้ศึกษาปรับปรุงระบบให้มีขนาดเล็ก ต่อเนื่อง และใช้อุปกรณ์น้อยลง และรวมถึงเปลี่ยนแปลงขนาดท่อในการส่งน้ำแป้งและท่อส่งเอนไซม์ เพื่อให้เกิดการย่อยแป้งที่ดีที่สุด โดยระบบแสดงดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 แสดงระบบต้มแป้งแบบต่อเนื่อง [21]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การทดลอง และแผนการดำเนินงาน

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. Hot Plate (พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ)
2. เครื่องวัดความหนืด (Model DV-I+ viscosity, Brookfield ENG. LAB INC., USA)
3. เครื่องวัด solid (Refractometor)
4. เครื่องกวนผสม (Stirrer)
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. เครื่องวัดความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ
   (IGT testing system Model AIC2-5, IGT Amsterdam LTD, Holland)
7. กล้องจุลทรรศน์ (Microscope Model SMZ-2T Nikon, Japan)
8. Scaning electron microscope (SEM, JSM-6490LV, Jeol, Japan)
9. Spectrophotometer (Model V-530, Jasco Coperation,USA)
10. เครื่องเคลือบผิวหน้ากระดาษ (Model M202, K control coater, Japan)

4.2 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1: ศึกษาแนวโน้มของค่าความหนืดและโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ได้รับผลมาจากปัจจัยต่างๆ ในการย่อย และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยแป้งเพื่อใช้ในการฉาบผิวหน้ากระดาษ

1.ต้มน้ำในในหม้อต้มให้ได้อุณหภูมิ 70°C โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิรักษาอุณหภูมิให้คงที่

2.นำแป้ง 31.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์และเติมน้ำให้ได้ 400 กรัม ใส่เอนไซม์ (0.1%v/v) 1 มิลลิลิตร แล้ว นำไปใส่ในหม้อต้ม เพื่อทำการย่อยแป้งให้สุก โดยใช้เวลาในการย่อย 10 นาที

3.เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ให้เติมสารไฮโปคลอไรด์ 1.3 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา

4.นำน้ำแป้งต้มสุกที่ได้มาทำการหาค่าความหนืด ด้วย เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Model DV-I+ viscosity)

5.นำน้ำแป้งที่ได้มาฉาบที่ผิวหน้ากระดาษให้มีความหนาประมาณ 3 แกรม ด้วยเครื่องเคลือบด้วยมือ รุ่น K control coater (การควบคุมความหนาของน้ำแป้งทำได้โดยทำการเคลือบแป้งที่กระดาษครึ่งแผ่น และไม่ผ่านการเคลือบครึ่งแผ่น จากนั้นนำไปหาน้ำหนักต่อพื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร ความต่างของน้ำหนักคือ แกรมที่ได้จากการเคลือบ) คุณสมบัติของกระดาษและวิธีการฉาบผิวดังภาคผนวก ก, ข และทำการหาความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษด้วยเครื่อง IGT testing วิธีการทดสอบดังภาคผนวก ค

6.ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณของเอนไซม์เป็น 3 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร หลังจากทำการทดลองครบทั้ง 3 ปริมาณ ให้ทำการเปลี่ยนเวลาในการย่อยเป็น 20 นาที และ 30 นาที

7.ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1-6 ซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิในการย่อยเป็น 80°C และ 90°C โดยสภาวะทั้งหมดแสดงตามตารางที่ 7 และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ในทุกๆ สภาวะ

8.ทำการตรวจสอบสภาวะที่ส่งผลให้เกิดค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษดีที่สุด

ตอนที่ 2 : ศึกษาโครงสร้างภายในของน้ำแป้งต้มสุกด้วยกล้องจุลทรรศน์

1.นำน้ำแป้งต้มสุก 0.5 มิลลิลิตร ลงบน cover slide

2.หยดไอโอดีน ที่มีความเข้มข้น 0.05 N แล้วใช้ cover glass เขี่ยให้สารละลายไอโอดีนกระจายตัวทั่วน้ำแป้ง และปิดสารตัวอย่างด้วย cover glass

3.ส่องด้วยกล้องจุลทรรศ์ที่มีกำลังขยาย X100 และทำการถ่ายด้วยกล้อง digital ที่มีกำลังขยาย 2 เท่า

ตอนที่ 3: ศึกษาโครงสร้างภายในของน้ำแป้งด้วย Scaning electron microscope (SEM)

1.นำกระดาษที่ผ่านการฉาบผิวหน้าด้วยน้ำแป้งสุกที่ต้มที่สภาวะที่ดีที่สุดจากตอนที่ 1 มาทำการถ่ายภาพด้วยกำลังขยายประมาณ 500 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะของผิวหน้ากระดาษ โดยวิธีการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบดังภาคผนวก ง

ตอนที่ 4: ศึกษาการหาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์ในน้ำแป้งต้มสุกที่ได้จากสภาวะต่างๆตามตอนที่ 1 ด้วยวิธี Dinitrosalicylic Acid Method (DNS)

1. ทำการเตรียมสารเคมี DNS เพื่อใช้ในการทดลอง
2. เตรียมกราฟของสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน (Standard Curve)
3. นำน้ำแป้งที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 1 มาเตรียมตัวอย่างตามวิธี DNS ดังภาคผนวก จ
4. วัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งเป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ ทำการคำนวณและเปรียบเทียบค่าที่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 แสดงเงื่อนไขในการทดลองเพื่อหาแนวโน้มของค่าความหนืดและโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ได้รับผลมาจากปัจจัยต่างๆในการต้ม

ปริมาณเอนไซม์ (มิลลิลิตร)	pH	**เวลาในการต้ม (นาที)**	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**	**ไฮโปคลอไรด์ (มิลลิลิตร)**
1	7	10	70	1.3
1	7	10	80	1.3
1	7	10	90	1.3
1	7	20	70	1.3
1	7	20	80	1.3
1	7	20	90	1.3
1	7	30	70	1.3
1	7	30	80	1.3
1	7	30	90	1.3
3	7	10	70	1.3
3	7	10	80	1.3
3	7	10	90	1.3
3	7	20	70	1.3
3	7	20	80	1.3
3	7	20	90	1.3
3	7	30	70	1.3
3	7	30	80	1.3
3	7	30	90	1.3
5	7	10	70	1.3
5	7	10	80	1.3
5	7	10	90	1.3
5	7	20	70	1.3
5	7	20	80	1.3
5	7	20	90	1.3
5	7	30	70	1.3
5	7	30	80	1.3
5	7	30	90	1.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ลำดับ	หัวข้อกิจกรรม	สัปดาห์																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	ศึกษากระบวนการต้มแป้งและเคลือบผิวกระดาษจาก บมจ.กระดาษสหไทย	↔		↔																													
2	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง				↔		↔																										
3	หาปัจจัยต่าง และออกแบบการทดลอง ด้วย DOE							↔																									
4	จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง								↔																								
5	ทำการทดลองเพื่อดูแนวโน้มของค่าความหนืดและโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ได้รับผลมาจากปัจจัยต่างๆในการต้ม									↔															↔								
6	นำน้ำแป้งที่มีค่าความหนืดต่างๆมาทำการเคลือบผิวกระดาษและทดสอบความแข็งแรงที่ผิวหน้าเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด									↔															↔								
7	ศึกษาการหาค่า DE เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดคุณภาพน้ำแป้ง																									↔			↔				
8	สรุปผลและจัดทำรายงาน																											↔					↔

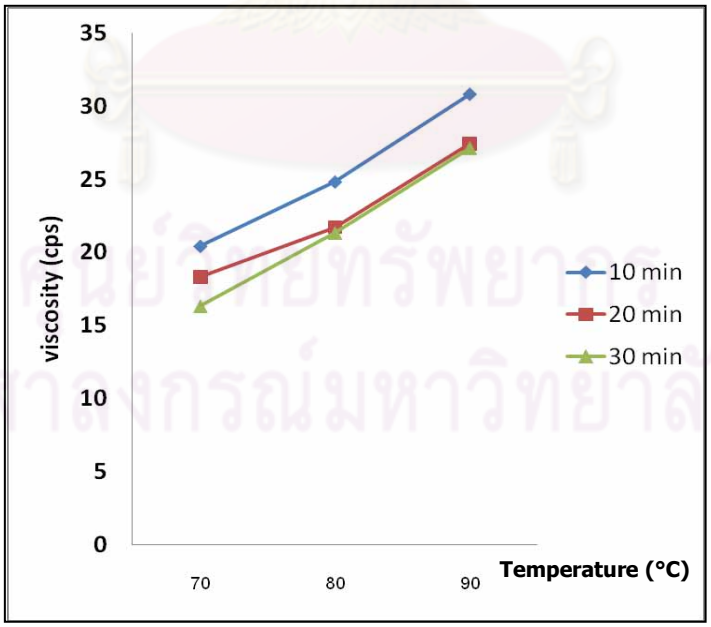
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการทดลอง

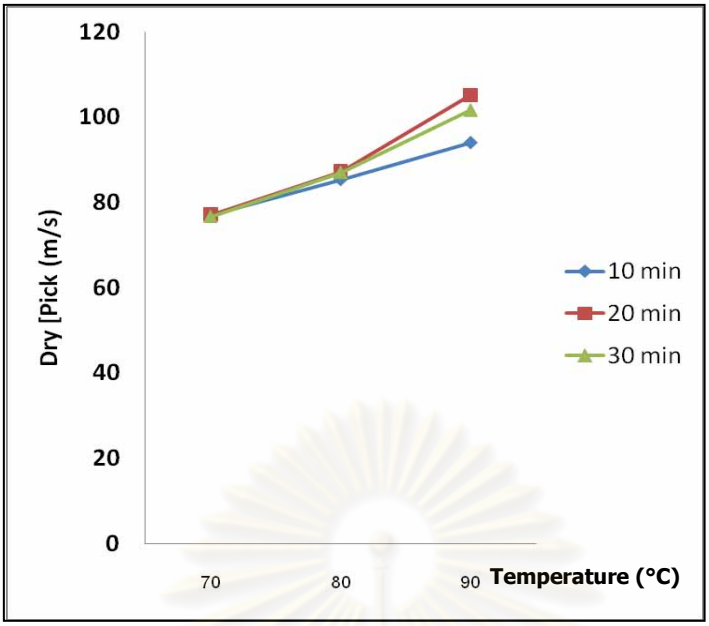
จากการศึกษาการย่อยแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 7% (w/w) ที่สภาวะในการย่อยต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษสูงที่สุด ได้ผลการทดลองดังนี้

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



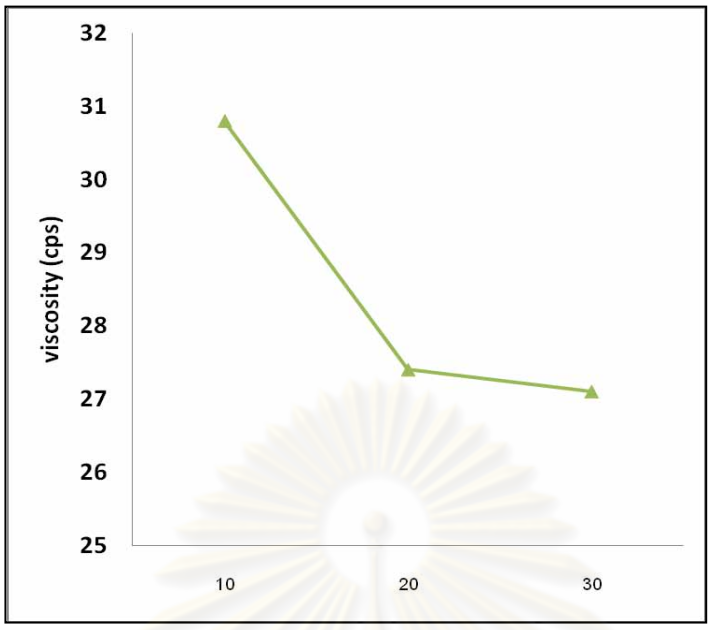
รูปที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 70,80 และ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที



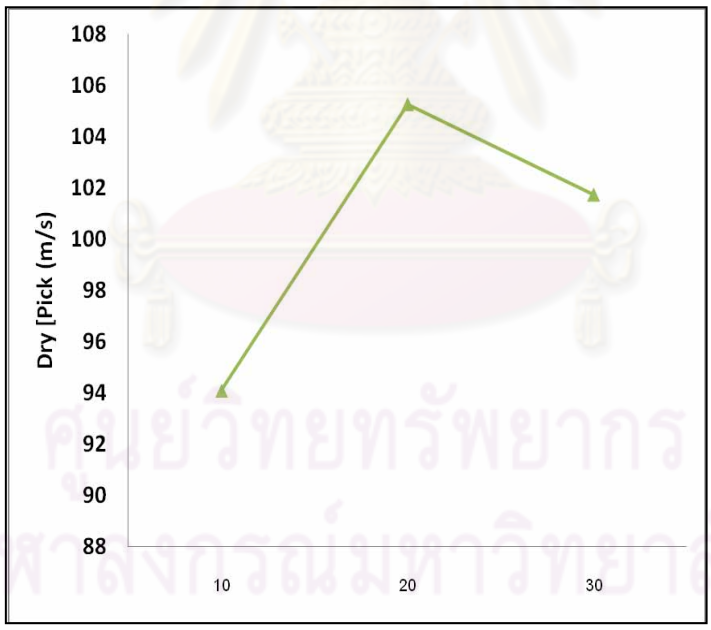
รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 70,80 และ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที

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

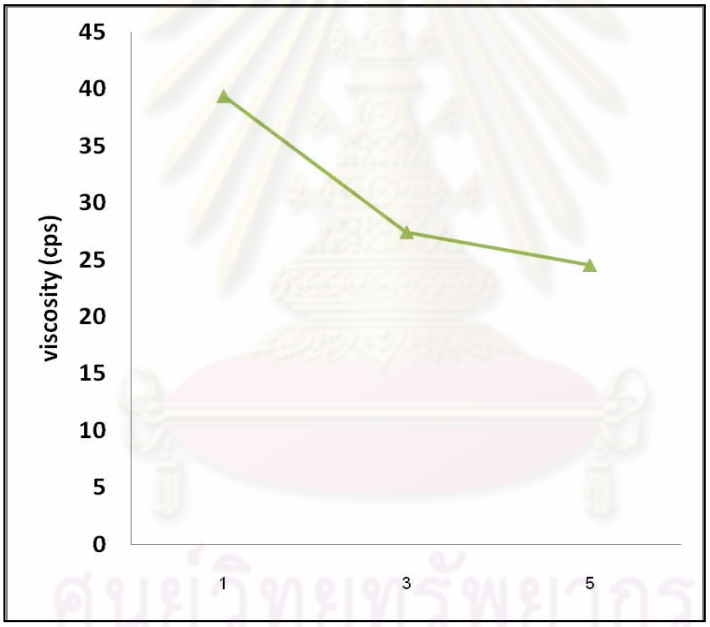


รูปที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที

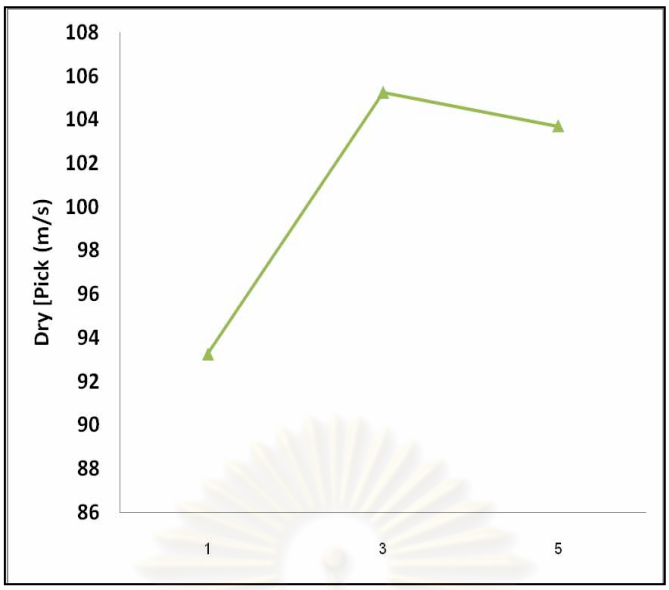
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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



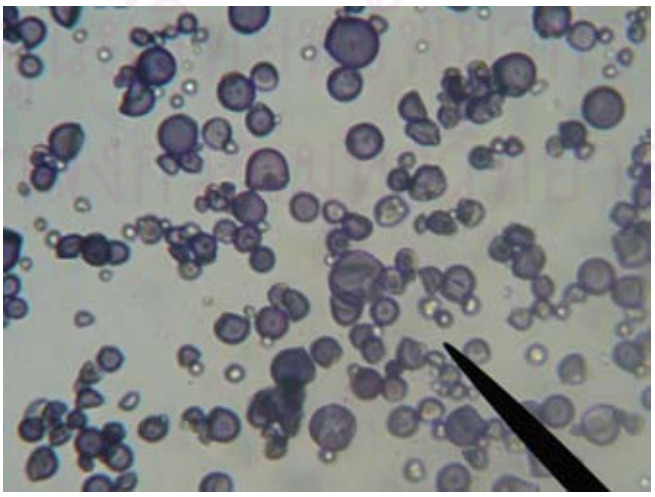
รูปที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด กับ ปริมาณเอนไซม์ 1, 3 และ 5 ml อุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลาในการย่อย 20 นาที



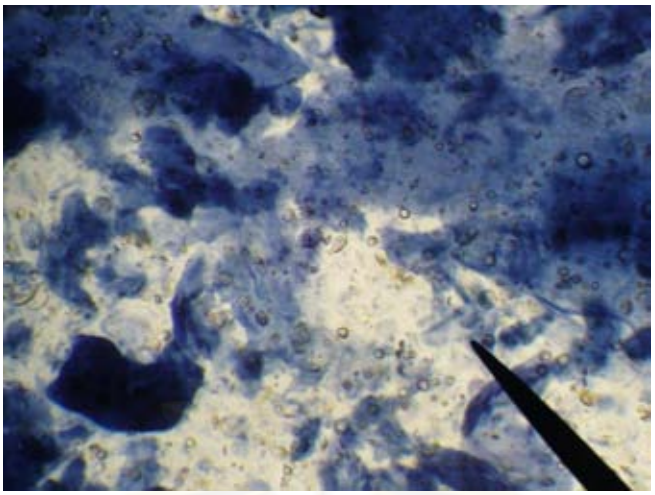
รูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ กับ ปริมาณเอนไซม์ 1, 3 และ 5 ml อุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลาในการย่อย 20 นาที

5.4 ศึกษาลักษณะของน้ำแป้งสุกด้วยกล้องจุลทรรศน์

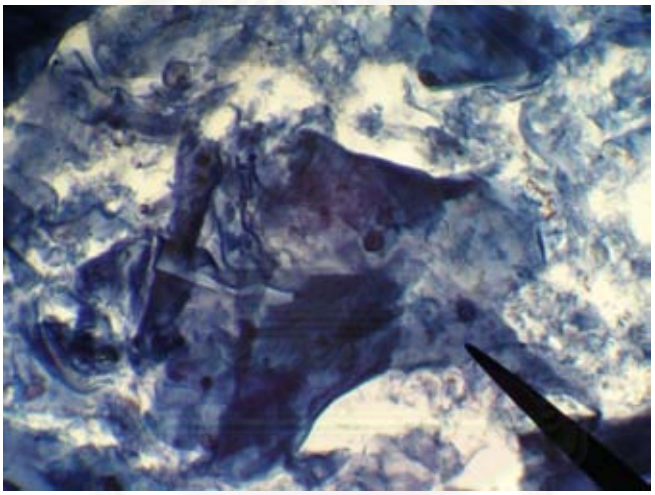
ศึกษาโครงสร้างภายในของน้ำแป้งต้มสุกโดยใช้อุณหภูมิในการย่อย 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที ใช้เอนไซม์ 9.6 ไมโครลิตร เปรียบเทียบกับแป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อยเพื่อดูลักษณะภายในของแป้ง จากผลการทดลองพบว่า แป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อยจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมที่มีขนาดต่างๆกัน ดังรูปที่ 32 และเมื่อทำการย่อยที่อุณหภูมิ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



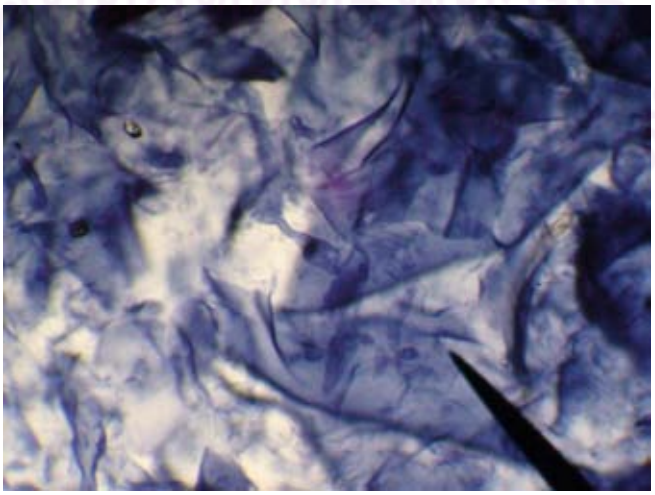
รูปที่ 32 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อย



รูปที่ 33 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 10 นาที



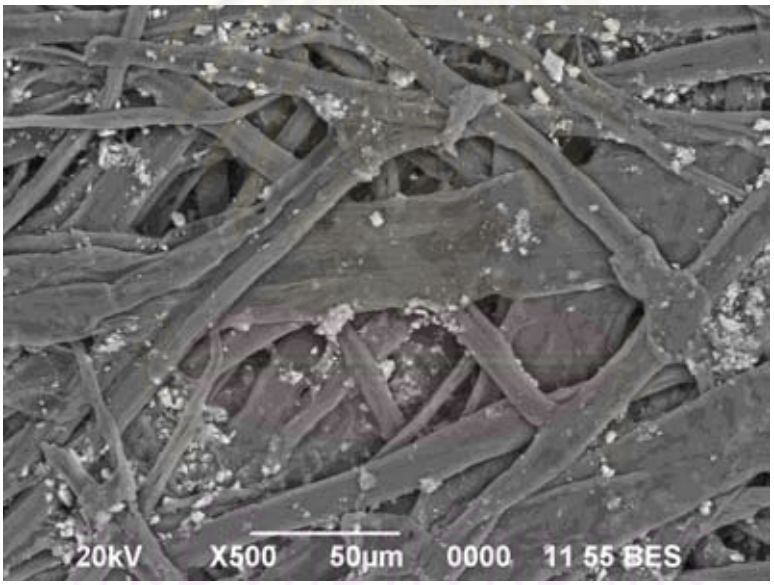
รูปที่ 34 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 20 นาที



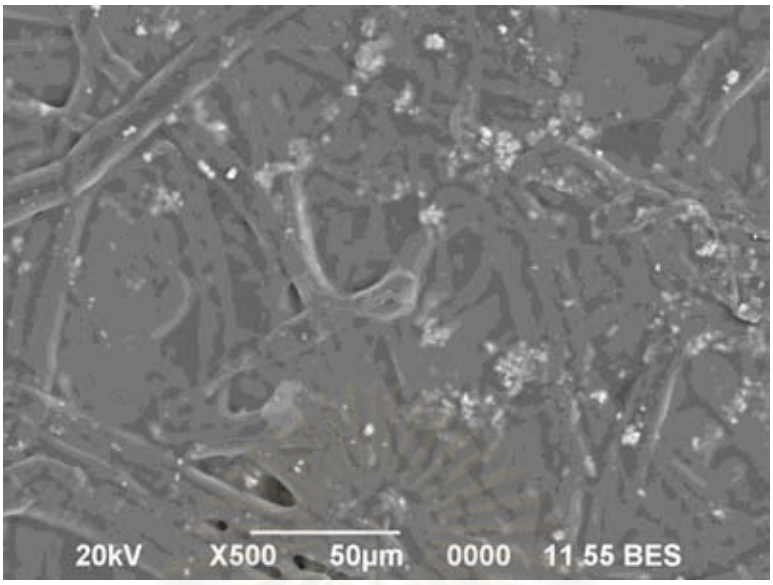
รูปที่ 35 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที

5.5 ศึกษาผิวหน้ากระดาษด้วยการถ่ายภาพ SEM

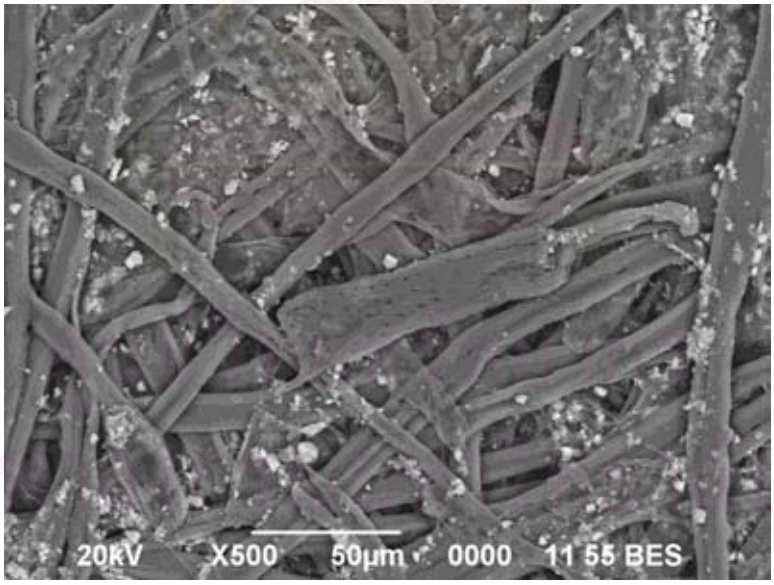
จากการฉาบน้ำแป้งต้มสุกที่ผ่านการย่อยด้วยสภาวะต่างๆนั้น พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ผิวหน้ากระดาษแข็งแรง คือ การย่อยที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการย่อย 20 นาทีและ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้คือ 3 มิลลิลิตร หรือประมาณ 9.6 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง จากนั้นได้นำกระดาษที่ผ่านการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยสภาวะดังกล่าว 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



รูปที่ 36 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของผิวหน้ากระดาษที่ไม่ได้รับการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งต้มสุก



รูปที่ 37 แสดงผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งต้มสุกที่ถูกย่อยด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ด้วยปริมาณเอนไซม์ 9.6 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง



รูปที่ 38 แสดงผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งต้มสุกที่มีค่าความหนืดต่ำกว่า 20 cps

5.6 ศึกษาการหาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์ในน้ำแป้งต้มสุกที่ได้จากสภาวะต่างๆด้วยวิธี 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

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 ศึกษาการหาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์ในน้ำแป้งต้มสุกที่ได้จากสภาวะต่าง ๆด้วยวิธี 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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. การประยุกต์ใช้แป้งมัน [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา : http:// www.thaitapiocastarch.org [2010, Dec 30]

[2] William, E.S. and James, C. A. and Stanley, T. Properties of Paper: An Introduction. 2nd edition : TAPPI press,1995.

[3] Jerome, M.G. and Pual H. W. Troubleshooting the Papermaking Process. Atlanta USA: TAPPI press, 2001.

[4] Tapioca Development Corp.,Ltd. Starch in Size Press Application. Bangkok, Jun 2000.

[5] Smook, G.A. Handbook for pulp&paper technologists. 2nd Edition. Angus Wilde Publications, 1992.

[6] ประสงค์ จริยโชติเลิศ. Introduction to paper makimg. Technology Information and Training Center of SCG Paper, Feb 2006.

[7] Robert, L. and Kearney and Hans W. M. Starch and Starch Products in Paper Coating. TAPPI press,1990.

[8] Haken, K. Fibre Guide : Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. Lorentzen&Wettre, 2006.

[9] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ กุลฤดี แสงสีทอง. แป้ง: องค์ประกอบสำคัญในการผลิตกระดาษ. สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, ก.ค. 2009.

[10] บริษัท ผลิตภัณฑ์กระดาษไทย จำกัด. การผลิตกระดาษ [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http:// www.thaipaper.com [2010, Dec 30]

[11] Brander, J. and Thorn, L. Surface Application of Paper Chemicals. London: Blackie Academic&Professional, 2000.

[12] Konsoula, Z. and Kyriakides, M.L. Starch hydrolysis by the action of an entrapped in alginate capsules α-amylase from Bacillus subtilis. Process Biochemistry (2005) : .

[13] O'Brien, S. and Wang, Y.J. Susceptibility ofannealed starches to hydrolysis by α-amylase and glucoamylase. Carbohydrate Polymers 72 (2008) : 597-607.

[14] Shariffa, Y.N., Karim, A.A., Fazilah, A. and Zaidul, I.S.M. Enzymeatic hydrolysis of granular native and mildly heat-treated tapioca and sweet potato starches at sub-gelatinization temperature. Food Hydrocolloid 42 (2009): 1426-1433.

[15] Khatoon, S., Sreerama, Y.N., Raghavendra, D. and Bhattacharya S. Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starch. Food Research International (2009).

[16] Zhang, T. and Oates, C. Relationship between α-amylase degradation and physic-chemical properties of sweet potato starches. Food Chemistry 65 (1999): 157-163.

[17] Gunaratne, A. and Hoover, R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydrate Polymers 49 (2002) : 425-437.

[18] Jobling, S. Improving starch for food and industrial applications. CurrentOpinion in Plant Biology 7 (2004) : 210-218.

[19] มหาวิยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. บทที่ 3 การประยุกต์ใช้แป้งในอุตสาหกรรม [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มาhttp://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap3/-chapter3_2.html [2010, Dec 30]

[20] สุนีย์ โชตินีรนาท,รังสิมา ชลคุป และ กล้าณรงค์ ศรีรอต. จลนพลศาสตร์และผลิตภัณฑ์ของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในการย่อยแป้งมันสำปะหลัง. Cassava and starch technology research unit, KAPI, Kasetsart University. (1996)

[21] Gallaher et al. Starch Conversion. United States Patent (Sep 1990) : 4,957,563.

[22] Anthony, C.D., Pages, G.,Gilbert, R.G. and Kuchel, P.W. Digestion of starch : In vivo and in vitro kinetic models used to charaterise oligosaccharide or glucose release. Carbohydrate Polymers 80 (2010) : 599-617.

[23] พักตร์ประไพ ประจำเมือง และ วิชัย ลีลาวัชรมาศ. เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยแป้ง. วารสารศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 (ตุลาคม-ธันวาคม 2546) : 28-31.

[24] Vieira, F.C. and Sarmento, S.B.S. Heat-moisture treatment and enzymatic digestibility Peruvian carrot, sweet potato and ginger starches. Starch/Starke 60 (2008) : 223-232.

[25] Atsuo K. and Robyt J.F. Reaction of enzymes with starch granules kinetics and products of the reaction with glucoamylase. Carbohydrate Research 277 (1995): 87-107.

[26] Marc J.E.C. van der Maarel. Properties and applications of starch-converting enzymes of the α-amylase family. Journal of Biotechnology 94 (2002):137-155.

[27] Emsland-Starke Gmbh. Starch Developments for the Surface treatment of Paper [ออนไลน์]. 2553. ที่มา http://www.agfdt.de/loads/st04/wollabb.pdf [2010, Sep 10]

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของกระดาษที่นำมาใช้ในการทดลอง และมาตรฐานในการทดสอบ

ตารางแสดงคุณสมบัติของกระดาษที่นำมาใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ		หน่วย	ค่ากำหนด
Basis weight		gsm	97-101
Thickness		mm	0.12-0.14
Tensile	MD	Kg_f/15 mm	3.9-6.5
	CD	Kg_f/15 mm	3.1-5.3
Tear	MD	g	40-72
	CD	g	48-76
Cobb	wire	gsm	24-32
	felt	gsm	23-30
Wax pick		A	Min 5
IGT		m/s	30

หมายเหตุ : Basis weight คือ ค่าน้ำหนักของกระดาษต่อ 1 ตารางเมตร

: Thickness คือ ค่าความหนากระดาษ

: Tensile คือ ค่าแรงดึงที่ทำให้กระดาษขาด

: Tear คือ ค่าแรงฉีกที่ทำให้กระดาษขาด

: Cobb คือ ค่าความต้านทานน้ำของกระดาษ

: Wax Pick คือ ค่าแสดงความของแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ

: IGT คือ ค่าแสดงความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษทดสอบโดยการพิมพ์

: MD คือ ทิศทางของกระดาษตามแนวการเดินเครื่อง

: CD คือ ทิศทางของกระดาษตามแนวขวางการเดินเครื่อง

: A คือ เบอร์ของขี้ผึ้งที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางแสดงมาตรฐานในการทดสอบกระดาษ

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ
Basis Weight	ISO 536
Thickness	ISO 534
Tensile	ISO 1924
Tear	ISO 1974
Cobb	ISO 535
Wax Pick	ISO 459
IGT	ISO 3782

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
วิธีการฉาบผิวกระดาษ

การฉาบผิวหน้ากระดาษด้วยน้ำแป้งสุก โดยใช้เครื่อง K.Control Coater สามารถอธิบายวิธีการทำงานได้ดังนี้

<u>วิธีการฉาบผิวหน้ากระดาษ</u>

1. เสียบปลั๊ก กดสวิทซ์สีแดงที่ด้านข้างเครื่องเคลือบ
2. นำ Rod Std ที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกไว้ มาปรับปุ่มแรงกดซ้ายขวา โดยการเริ่มต้นหมุนน๊อตที่ปุ่มด้านซ้ายขวาที่รอบ การหมุนเท่าๆกัน ขันน๊อตให้แน่น เอา Rod Std ออก ห่อหุ้มด้วยพลาสติกตามเดิม
3. นำกระดาษเบสมาวางบนพลาสติกรองเคลือบ ใช้ตัวหนีบยึดกระดาษไว้
4. เลือก Rod และความเร็วในการเคลือบ ตาม Coat Weight ที่ต้องการ และ % Solid ของน้ำยาเคลือบนั้นๆ (เนื่องจากเบอร์ของ Rod จะเป็นการบอกถึง Wet Film Thickness)
   Coated Weight 2 - 3 gsm. ใช้ Rod เบอร์ 6 M ความเร็วในการเคลือบ เบอร์ 2
5. ใส่ Rod ที่เลือกแล้ว ทับบนกระดาษเบส ใช้ตัวล็อควางกดลงบน Rod
6. เทน้ำยาเคลือบลงบนเบส ให้ชิดด้านหน้าตัว Rod เทเป็นแนวยาวให้สม่ำเสมอตลอดตัว Rod
7. บิดสวิทซ์ด้านหน้าเครื่องจากจุด STOP มาทางขวามือที่จุด FWD. เครื่องจะลาก Rod ปาดน้ำยาที่เทไว้จากด้านบน สู่ด้านล่างกระดาษเบส จากนั้นบิดสวิทซ์กลับมาที่จุด STOP ดังเดิม
8. นำกระดาษที่เคลือบเข้าตู้อบอุณหภูมิ 105 องศา นาน 1 นาที
9. ยกตัวล็อคออกจาก Rod นำ Rod ออกมาล้างทำความสะอาดด้วยฟองน้ำ ห้ามใช้สก๊อตไบร์ทขัดถูตัว Rod จะทำให้ เส้นลวดที่ตัว Rod สึกได้ หลังจากนั้นนำมาเช็ดให้แห้ง
10. บิดสวิทซ์ด้านหน้าเครื่องกลับมาทางซ้ายมือที่จุด REV. ตำแหน่งที่ใส่ Rod จะหมุนย้อนกลับมาที่จุดเริ่มต้นก่อนเคลือบ
11. บิดสวิทซ์ด้านหน้าเครื่องคืนกลับมาทางขวามือที่จุด STOP เส้นสีขาวจะอยู่ในตำแหน่งตรง
12. ต้องการเคลือบแผ่นต่อไป ให้ทำซ้ำตามข้อ 5 - 10

ภาคผนวก ค

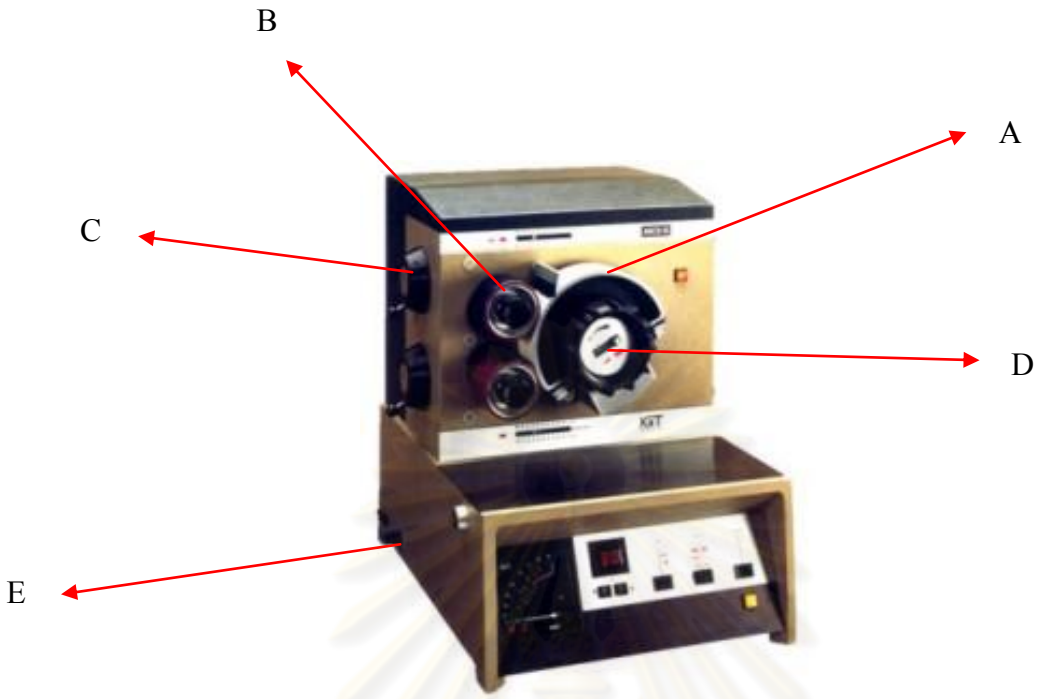
วิธีการทดสอบผิวหน้ากระดาษด้วยวิธี IGT (Dry Pick)

การทดสอบผิวหน้ากระดาษด้วยวิธี IGT เป็นการทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ ว่าสามารถรับแรงดึงจากหมึกที่มีความเหนียวได้ที่ความเร็วเท่าไหร่ โดยมีวิธีการ ดังนี้

วิธีการทดสอบ

1. ตัดตัวอย่างขนาด 1" X 12" ใส่ลงในที่ใส่กระดาษของเครื่อง IGT - A2 (A) โดยพยายามให้กระดาษตึงเรียบตลอดหน้า
2. เติมหมึกลงในหลอดใส่หมึก 2 CC.
3. เสียบปลั๊ก ใส่ลูกยาง ล็อคให้แน่น เลื่อนปุ่มกดลูกยางลงมาให้แนบกับลูกกลิ้งเหล็ก
4. บีบหมึกที่เตรียมไว้ลงที่ลูกกลิ้งยาง 1 CC ใช้เวลาเกลี่ยหมึก 15 นาที ที่ชุดรับหมึก นำลูกกลิ้งรับหมึกอันเล็ก (RRINTING DISE) ลงมารับหมึกนาน 30 วินาที
5. ปรับตั้งเครื่อง IGT - A2 ที่ตำแหน่ง M. ปรับปุ่ม (M.) และน้ำหนักแรงกดที่ 30 Kg/cm2 ด้วยแกนหมุน (N)
6. นำลูกกลิ้งรับหมึกจากชุดรับหมึก มาใส่ที่เครื่อง IGT- A2 ที่ตำแหน่ง (B) ซึ่งติดตัวอย่างกระดาษเรียบร้อยแล้ว
7. โยกคันโยกของเครื่อง IGT - A2 (C) เข้าหาตัวเพื่อนำให้กระดาษตัวอย่างที่ติดไว้เลื่อนเข้ามาหาลูกกลิ้งรับหมึก
8. หมุนปุ่มด้านหน้าของเครื่อง IGT - A2 (D) ไปทางด้านซ้ายมือเพื่อให้ลูกกลิ้งรับหมึกแตะกับกระดาษตัวอย่างพอดี
9. ผลักปุ่มด้านบนของเครื่อง IGT - A2 ไปด้านหลัง เครื่องจะทำงานโดยที่ติดตัวอย่างกระดาษจะเหวี่ยง และลูกกลิ้งรับหมึกจะหมุนไปด้วย หมึกจากลูกกลิ้งจะติดไปกับกระดาษ และผิวหน้ากระดาษจะหลุดถอนให้เห็น
10. นำกระดาษออกมาส่องในกล่องไฟ เพื่อวัดระยะห่าง จากจุดที่กระดาษเริ่มรับหมึก ถึงจุดที่ผิวหน้ากระดาษถอนว่ายาวกี่ ซม จากนั้นนำค่าที่ได้มาเทียบกับตารางมาตรฐานค่าที่ออกมาเป็น cm/sec
11. ทำตัวอย่างต่อไปให้ใส่หมึก 0.07 cc. ใช้เวลาเกลี่ยหมึก 45 วินาที แล้วทำตามข้อ 4 -9

หมายเหตุ : โดยปกติเครื่อง IGT - A2 เวลาใช้งานจะใช้แรงกดที่ 30 kg./cm.2 ใช้แรงเหวี่ยงที่เบอร์ M



A = ที่ใส่กระดาษ IGT - A2

B = ที่ใส่ลูกกลิ้งรับหมึกจาก IGT – AE

C = คันโยกเพื่อให้กระดาษเข้าหาลูกกลิ้งรับหมึก IGT - A2

D = ปุ่มนำลูกกลิ้งให้แตะกระดาษ IGT - A2

E = ปุ่มการทำงานของเครื่อง IGT - A2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

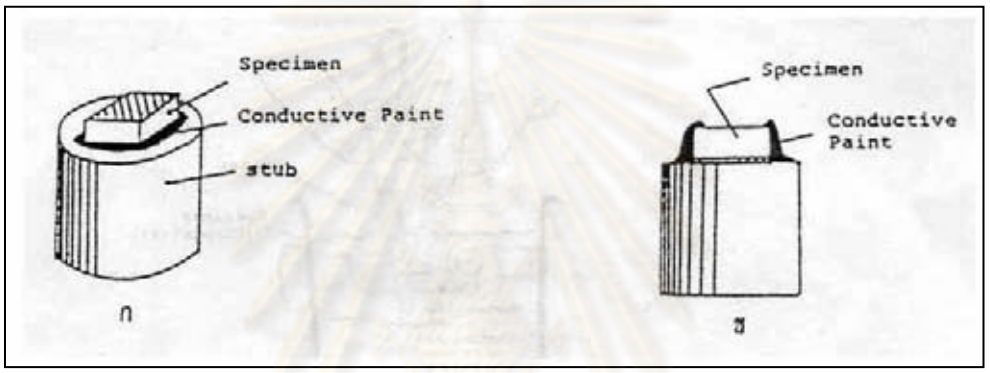
ภาคผนวก ง
วิธีการเตรียมตัวอย่างและการถ่ายภาพด้วย SEM

ตัวอย่างที่ทำการทดลองมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างและวิถีการถ่ายภาพสามารถอธิบายได้ดังนี้

วิธีการเตรียมตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

ก. การเตรียมโดยไม่ได้ Disperse

ข. การเตรียมโดย Disperse ใน Methanol



<u>วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีทดลอง</u>

1.ตัดตัวอย่างที่เราสนใจให้มีขนาดเท่ากับ Stub ติดตัวอย่าง ด้านที่เราไม่ต้องการศึกษาจะถูกติดกาวหรือเทปกาว 2 หน้าตามความเหมาะสม กรณีที่ต้องการศึกษาโครงสร้างภายในให้หักตัวอย่างให้แตกเสียก่อน

2.เป่าทำความสะอาดตัวอย่างด้วยลูกยาง

3. นำไปฉาบผิวด้วยทองคำ

4. นำไปเข้าเครื่อง SEM ปรับกำลังขยายตามความต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
วิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar)

ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ประยุกต์ใช้วิธีของ Dinitrosalicylic Acid Method (DNS) โดยวิธีและการเตรียมสารเคมีสามารถอธิบายได้ดังนี้

<u>สารเคมี</u>

1. เตรียม DND Reagent โดยละลาย 1.6 กรัม NaOH ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
2. ค่อยๆเติม 3,5-dinitrosalicylic acid 1 กรัม ลงไป และคนให้ละลายจนหมด
3. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
4. เติม sodium potassium tartrate 30 กรัม
5. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
6. เก็บ DNS Reagent ไว้ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ 2-3 คืนก่อนนำมาใช้งาน

<u>การเตรียมกราฟของสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน (Standard Curve)</u>

1. อบกลูโคส ที่ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccators เพื่อใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส (เตรียมโดยชั่งกลูโคส 25 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยใช้ Volumetric flask) และทำการเตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

หลอดที่	สารละลายน้ำตาล กลูโคสมาตรฐาน (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (%)
1	0	5	0
2	1	4	5
3	2	3	10
4	3	2	15
5	4	1	20
6	5	0	25

2. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 1 มา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดแล้วผสมเข้าด้วยกัน
4. นำสารละลายที่ได้มา 0.2 มิลลิลิตร
5. เติม DNS Reagent 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดและผสมเข้าด้วยกัน

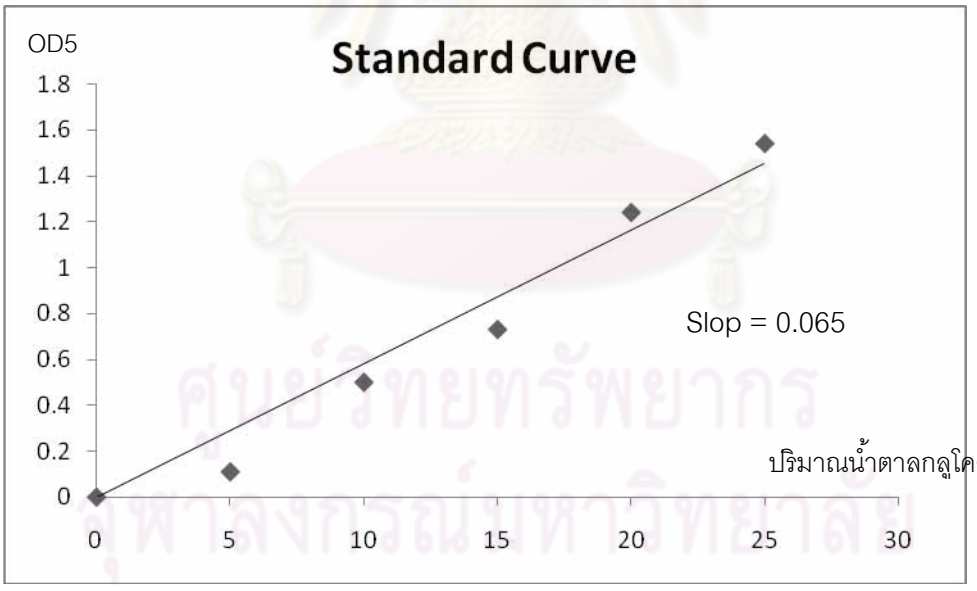
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. นำไปต้มที่ water bath 100 องศาดซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นด้วยการแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา
7. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน
8. นำไปวัดค่า absorbance ที่ 520 nm โดยใช้หลอดที่ 1 เป็น blank
9. นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ แล้วหา slope โดยแกน Y แทนค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 520 nm และแกน X แทนปริมาณกลูโคส

<u>การวัดปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในตัวอย่าง (Residual sugars concentration)</u>

1. นำสารตัวอย่างที่ต้องการวัดปริมาณน้ำตาลมา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร
2. และทำตามข้อ 3-9 จากการเตรียม standard curve โดยใช้หลอดทดลองที่ 1 เป็น blank
3. นำค่า Absorbance ที่วัดมาคำนวณหาปริมาณ reducing sugar ดังนี้

น้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง (กรัมใน 100 มิลลิลิตร) = OD520/slope



กราฟแสดงมาตรฐานของสารละลายน้ำตาลกลูโคส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิยานิพนธ์

ชื่อ : นพมาส เยี่ยมสวัสดิ์

เกิด : 25 สิงหาคม 2527

การศึกษา : ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนศรัทธาสมุทร จ.สมุทรสงคราม

ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยมหิดล สาขา วิศวกรรมเคมี

การทำงาน : 2007-2009 บริษัท แอดว๊านซ์ เปเปอร์ จำกัด

2009- ปัจจุบัน บริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย