



วิทยานิพนธ์

ผลการเคลือบสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษ
คราฟท์ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสภาวะห้องเย็น

**EFFECT OF COATING MODIFIED STARCH AND SIZING
AGENTS ON PROPERTIES OF KRAFT LINER IN COLD
STORAGE APPLICATION**

นางสาวดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลการเคลือบสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษkraft ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสถานะห้องเย็น

Effect of Coating Modified Starch and Sizing Agents on Properties of Kraft Liner in Cold Storage Application

นามผู้วิจัย นางสาวดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์รัชฎ์ฤทธิ์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์สินีนารถ จริยโชติเลิศ, M.S.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ จิวสุข, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลการเคลือบสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษkraftทำผิวกล่องเพื่อใช้งานใน
สภาวะห้องเย็น

Effect of Coating Modified Starch and Sizing Agents on Properties of Kraft Liner in Cold Storage
Application

โดย

นางสาวดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)
พ.ศ. 2550

ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย 2550: ผลการเคลือบสตราซ์ซัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษ
คราฟท์ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสภาวะห้องเย็น ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการ
บรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ประชานกรรมการที่ปรึกษา:
อาจารย์ธัญญารัตน์ จิฎกานจนันท์, Ph.D. 121 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานน้ำและความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษ
คราฟท์ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสภาวะห้องเย็น งานวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ ศึกษาอิทธิพลของความเข้ม
ชั้นของสารละลายออกซิไดซ์สตราซ์และปริมาณสารกันซึม สารกันซึมที่เลือกใช้มี 3 ชนิด ได้แก่ Baysize® BMP
Baysize® AGP และ Cartacol® XPM อิทธิพลของการใช้สตราซ์ซัดแปรต่างชนิด ได้แก่ ออกซิไดซ์สตราซ์และไฮ
โดรโฟบิกสตราซ์ อิทธิพลของการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกในสารเคลือบ และอิทธิพลของสภาวะการ
เก็บรวมทั้งลักษณะการดูดคายความชื้นของกระดาษเคลือบในสภาวะห้องเย็น (13 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ
 88 ± 2) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตราซ์ส่งผลให้กระดาษมีการดูดซึม
น้ำและมีความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณสารกันซึมชนิดต่างๆ พบว่า มี
ปฏิกิริยาสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตราซ์ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกันในสาร
กันซึมแต่ละชนิดเมื่อใช้ร่วมกับความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตราซ์ระดับต่างๆ ผลนี้เป็นไปในทำนองเดียวกัน
สำหรับสารกันซึมทั้ง 3 ชนิด ผลการใช้สตราซ์ซัดแปรต่างชนิดพบว่าการเคลือบกระดาษด้วยไฮโดรโฟบิกสตราซ์
ทำให้กระดาษมีความต้านทานน้ำและความต้านทานแรงดันทะลุสูงกว่าการเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตราซ์อย่างมี
นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อทดลองเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกในสารเคลือบ พบว่า ความต้านทานแรงดัน
ทะลุมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการเก็บกระดาษในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าใน
สัปดาห์สุดท้าย กระดาษที่ผ่านการเคลือบทุกชนิดมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงกดวง
แหวนในทิศ MD สูงกว่ากระดาษไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ในการศึกษาลักษณะการดูดคาย
ความชื้นของกระดาษคราฟท์พบว่า ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ร้อยละ 74 ถึง 87 กระดาษคราฟท์ที่ผ่านการ
เคลือบด้วยสตราซ์ซัดแปรร่วมกับสารกันซึมมีปริมาณการดูดซึมน้ำน้อยกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ สำหรับการ
เคลือบกระดาษคราฟท์ด้วยสารละลายสตราซ์ซัดแปรร่วมกับสารกันซึมนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับ
อุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษคราฟท์สำหรับใช้งานในสภาวะห้องเย็นได้

Duangtip Kukiatikulchai 2007: Effect of Coating Modified Starch and Sizing Agents on Properties of Kraft Liner in Cold Storage Application. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Mrs.Tunyarut Jinkarn, Ph.D. 121 pages.

The objective of this research was to improve water resistance and strength properties of kraft liner for cold storage application. The study was composed of four sections including the study effect of concentrations of oxidized starch and sizing agents. Using 3 types of sizing agent, Baysize[®] BMP Baysize[®] AGP and Cartacol[®] XPM. The effect of using different types of modified starches, oxidized and hydrophobic. The effect of adding wet strength resin into coating solution. And the effect of cold storage and moisture sorption characteristics of coated kraft liners in the cold room condition ($13 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $88 \pm 2\% \text{RH}$). The results showed that higher starch concentration significantly increased water absorption and bursting strength of kraft liner ($p \leq 0.05$). For sizing agent concentrations, there was an interaction between its concentration and oxidized starch which resulted in different water resistance levels at particular oxidized starch concentrations. This result showed in the same trend for 3 types of sizing agent. Using hydrophobic starch resulted in higher water resistance and bursting strength than using oxidized starch ($p \leq 0.05$). And bursting strength of kraft liner was significantly increased after adding wet strength resin into coating solution. After the fourth week of storage in the cold room condition, bursting strength and RCT value in the MD direction of coated kraft liners were significantly higher than the uncoated one ($p \leq 0.05$). At the RH between 74% - 87%, kraft liners coated with modified starch and sizing agent adsorbed less water than the uncoated liner. Coating kraft liner with modified starch and sizing agents can be applied in the industry level to improve the physical properties of kraft liners especially for cold storage application.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ชัยยุทธรัตน์ จัญญาญจน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์สินีนาถ จริยโชติเลิศ กรรมการวิชาเอกและผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ ฌวิสุข กรรมการวิชาการ สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำระหว่างการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์วัลย์รัตน์ จันทระพานนท์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำเพิ่มเติมจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท สยามกราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด บริษัทเนชั่นแนล สตาร์ชและเคมีคอล (ไทยแลนด์) จำกัด บริษัทไบเออร์ไทย จำกัดและบริษัททคลาเรียนท์ ประเทศไทย จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์วัสดุดิบและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคุณธารทิพย์ เจริญภักดีและคุณชญารัตน์ คำดี สำหรับคำแนะนำและการอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือสำหรับทดสอบ ขอขอบคุณคุณวาสนา แต่งอ่อน คุณสุกัญญา มาเจริญ คุณวันดี เนื้อขำและเพื่อนภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่านสำหรับความมีน้ำใจที่ให้กันเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณวิโรจน์และคุณวัลลภสินีย์ กู้เกียรติกุลชัย ที่คอยสนับสนุนในความรักและความเข้าใจ ขอขอบพระคุณคุณอุบล กู้เกียรติกุลชัยและคุณสืบสาย จารุวิจิตรรัตนา สำหรับความห่วงใย และอีกครั้งข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สินีนาถ จริยโชติเลิศ สำหรับคำปรึกษาและความเอาใจใส่ ทั้งหมดนี้เป็นแรงผลักดันช่วยให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอมอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์นี้ให้กับครอบครัว ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน ส่วนความผิดพลาดอันพึงปรากฏ ข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
กระดาษ (Paper)	4
การดูดซึมน้ำของกระดาษ (Water absorption of paper)	11
การฉาบสารกันซึมหรือการเคลือบสารกันซึม (Surface sizing)	17
การขนส่งในห้องเย็น	21
สตาร์ช (Starch)	24
สไตรีน-อะคริลิก อิมัลชัน (Styrene-acrylic emulsion)	30
สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (Wet strength resin)	32
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	94
สรุป	94
ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	99
ภาคผนวก	108
ภาคผนวก ก รายละเอียดของสารกันซึมและสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก	109
ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบ	112
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	121

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณความชื้นสมดุล (ร้อยละ) ของกระดาษและกระดาษแข็งที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	13
2	ตัวอย่างสถานะแข็งเย็นที่ใช้ขนส่งผักและผลไม้บางชนิด	22
3	สมบัติของกระดาษกราฟท์เกรด KI 125	46
4	ความหนืดของสารเคลือบที่ประกอบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมชนิดต่างๆ	47
5	ค่ากรด-ด่างของสารเคลือบที่ประกอบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมชนิดต่างๆ	48
6	น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาและปริมาณความชื้นของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ	51
7	น้ำหนักสารเคลือบในกระดาษกราฟท์หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ	52
8	ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test) ของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ	56
9	ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ	58
10	ความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ	60
11	เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบด้วยทรีตเมนต์ที่คัดเลืออกจากสารกันซึมแต่ละชนิด	68
12	เปรียบเทียบสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติเชิงกลของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบด้วยทรีตเมนต์ที่คัดเลืออกจากสารกันซึมแต่ละชนิด	68
13	ความหนืดและค่ากรด-ด่างของสตาร์ชตัดแปรและสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	สมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟที่เคลือบสตาร์ชตัดแปรและสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM	71
15	สมบัติการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดาษกราฟที่เคลือบสตาร์ชตัดแปรและสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM	73
16	สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบและสมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟที่เคลือบสารละลายสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก	77
17	สมบัติการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดาษกราฟที่เคลือบสารละลายสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก	79
18	สมบัติของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกภายหลังเก็บในห้องเย็น	83

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	4
2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความชื้นสมดุลของเชื้อเซลลูโลส	12
3 ชุดทดสอบ Cobb test	15
4 มุมที่หยดน้ำทำกับกระดาษ (ก) ไม่มีการดูดซึม (ข) มีการดูดซึม	16
5 Hercules sizing test	16
6 องค์ประกอบหลักภายในสตาร์ช	25
7 ปฏิกริยาการเกิดไดอัลดีไฮด์สตาร์ชและไดคาร์บอกซิลสตาร์ช	28
8 ปฏิกริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในส่วนอสัณฐาน	29
9 โครงสร้างโมเลกุลของ OSA starch	29
10 โครงสร้างของอิมัลชันที่ใช้เป็นสารกันซึม	31
11 การเกิดปฏิกริยาระหว่างไดเอทิลีน ไตรเอมีนและกรดอะดิพิก	33
12 อีพิกลอโรไฮดริน	34
13 อะมิโน กลอโรไฮดริน	34
14 การทำปฏิกริยาระหว่าง azetidinium และหมู่เอมีน	35
15 การทำปฏิกริยาระหว่าง azetidinium และหมู่คาร์บอกซิลบนผิวเส้นใย	35
16 ตัวอย่างกระดาษกราฟท์	39
17 การวางกระดาษกราฟท์บนเครื่องเคลือบ	39
18 ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟท์ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟท์ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® BMP 4 กรัม (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® BMP 8 กรัม (d) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® BMP 12 กรัม (e) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® BMP 4 กรัม (f) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® BMP 8 กรัม (g) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® BMP 12 กรัม	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® AGP 4 กรัม (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® AGP 8 กรัม (d) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® AGP 12 กรัม (e) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® AGP 4 กรัม (f) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® AGP 8 กรัม (g) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® AGP 12 กรัม	64
20	ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Cartacol® XPM 4 กรัม (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Cartacol® XPM 8 กรัม (d) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Cartacol® XPM 12 กรัม (e) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Cartacol® XPM 4 กรัม (f) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Cartacol® XPM 8 กรัม (g) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Cartacol® XPM 12 กรัม	65
21	ลักษณะภาพตัดขวางของกระดาษกราฟที่ขยาย 450 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® BMP 4 กรัม (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® BMP 4 กรัม	66
22	ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช (b) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM (c) เคลือบสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (d) เคลือบสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM (b) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (c) เคลือบสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM (d) เคลือบสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก	81
24	ปริมาณความชื้นของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น	85
25	ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น	87
26	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ทิส MD) ของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น	88
27	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ทิส CD) ของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น	89
28	ลักษณะการดูดความชื้นของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบ	91
29	ลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ	92
30	ลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM	93
31	ลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol [®] XPM	93

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

°ซ	=	องศาเซลเซียส
CD	=	Cross machine direction
MD	=	Machine direction
PSI	=	pound per square inch
RCT	=	Ring Crush Test
wt	=	weight

ผลการเคลือบสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษkraftที่ทำผิวกล่อง
เพื่อใช้งานในสถานะห้องเย็น

Effect of Coating Modified Starch and Sizing Agents on Properties of Kraft Liner
in Cold Storage Application

คำนำ

กระดาษkraft (kraft paper) เป็นวัสดุที่มีการนำมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุหลายประเภท ทั้งภาชนะบรรจุปฐมภูมิ ทุติยภูมิและตติยภูมิหรือภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่ง เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องความแข็งแรง มีน้ำหนักเบา สามารถแปรใช้ใหม่ได้และสามารถพิมพ์ได้สวยงาม แต่ข้อเสียของกระดาษที่ทำจากกระดาษ คือ ความไวต่อน้ำและความชื้น เมื่อกระดาษมีการสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นจะสูญเสียความแข็งแรงซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญไป ดังนั้นการใช้งานภาชนะบรรจุกระดาษในสถานะที่ต้องมีการสัมผัสกับน้ำหรืออยู่ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเช่น ในห้องเย็น จำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงสมบัติบางประการของกระดาษ เพื่อให้กระดาษนั้นมีความแข็งแรงและมีความสามารถในการต้านทานน้ำได้ดีขึ้น

การขนส่งสินค้าในห้องเย็นไปต่างประเทศ เช่น ส่งผักหรือผลไม้สด นิยมใช้กล่องโฟมเป็นภาชนะบรรจุในการขนส่ง พบว่ากล่องโฟมมีขนาดใหญ่และกำจัดยากภายหลังจากการใช้งาน ทำให้กล่องโฟมไม่เป็นที่ยอมรับในบางประเทศ และเนื่องจากข้อกำหนดทางการค้าสำหรับบางประเทศ ทำให้ผู้ส่งออกบางราย จำเป็นต้องขนส่งกล่องโฟมเปล่ากลับคืนมาเพื่อใช้ซ้ำหรือกำจัดทิ้ง ภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งในห้องเย็นอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้คือ กล่องลูกฟูกที่มีการเคลือบผิวด้วยแว็กซ์หรือลามิเนตด้วยฟิล์มพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้น แต่ปัญหาที่ตามมาคือ กระดาษเคลือบแว็กซ์หรือพลาสติกจะมีการดูดซึมน้ำกึ่งพิมพ์ลดลง ทำให้กระดาษลูกฟูกหลังเคลือบมีปัญหาด้านการพิมพ์ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและการนำเศษกระดาษมาแปรใช้ใหม่ เนื่องจากจะต้องทำการแยกชั้นกระดาษออกจากวัสดุอื่นก่อนนำกลับไปบดเป็นเยื่อ แต่กระดาษเคลือบแว็กซ์ไม่สามารถแยกชั้นได้และปัจจุบันยังไม่มีสถานที่สำหรับการรีไซเคิลกระดาษเคลือบแว็กซ์

กระบวนการหนึ่งที่จะทำให้กระดาษมีการดูดซึมน้ำลดลงคือ การฉาบหรือเคลือบด้วยสารกันซึม (surface sizing) โดยใช้วัสดุที่มีความสามารถในการต้านทานน้ำหรือมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเคลือบไปที่ผิวกระดาษ ในอดีตสารกันซึม (sizing agent) ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ สารละลายสตาร์ช

แต่ในปัจจุบันนิยมนำสารกันซึมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ผสมลงในสารละลายสตาร์ช วิธีนี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงให้กระดาษและลดการดูดซึมน้ำของกระดาษได้ โดยสารเคลือบจะไปอุดช่องว่างบนผิวกระดาษและเข้าไปทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ

อิมัลชันพอลิเมอร์ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษและกระดาษแข็งเพื่อเป็นสารเคมีในการเคลือบกระดาษและเป็นสารกันซึม ในปี 1998 มีการนำอิมัลชันพอลิเมอร์มาใช้ในตลาดโลกสูงถึง 7.4 ล้านตันและมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (Thümmes *et al.*, 2002) ดังนั้นการนำอิมัลชันพอลิเมอร์ผสมร่วมกับสารละลายสตาร์ชมาใช้ในการเคลือบผิวกระดาษเพื่อให้กระดาษมีการดูดซึมน้ำลดลง จะทำให้สามารถนำกระดาษนั้นมาใช้แทนกล่องกระดาษเคลือบแว็กซ์หรือกล่องโฟม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัญหาในเรื่องของการกีดกันทางการค้า การใช้อิมัลชันพอลิเมอร์เป็นสารกันซึมร่วมกับสารละลายสตาร์ชในกระดาษกราฟท์โดยเฉพาะกระดาษที่มีการผสมเยื่อหมุนเวียน นอกจากจะช่วยเพิ่มระดับความต้านทานน้ำให้กระดาษได้โดยไม่ทำให้ความแข็งแรงเชิงกลลดลงแล้ว ยังสามารถช่วยลดต้นทุนของภาชนะบรรจุกระดาษโดยรวมได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษกราฟท์โดยการเคลือบด้วยสตาร์ชดัดแปรร่วมกับสารกันซึม
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกพร้อมกับสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษกราฟท์
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บในสภาวะห้องเย็นที่มีต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษกราฟท์หลังผ่านการเคลือบด้วยสตาร์ชดัดแปรร่วมกับสารกันซึม
4. เพื่อศึกษาลักษณะการดูดคายความชื้นในสภาวะห้องเย็นของกระดาษกราฟท์ที่ผ่านการเคลือบด้วยสตาร์ชดัดแปรร่วมกับสารกันซึมและกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ

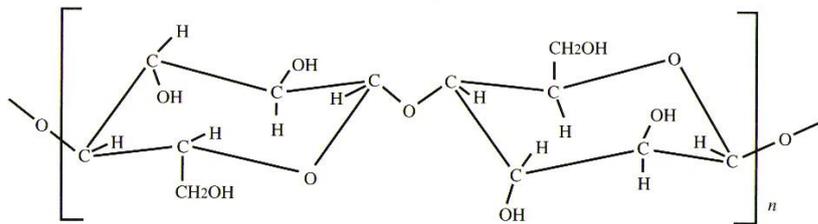
การตรวจเอกสาร

กระดาษ

1. โครงสร้างกระดาษ (Paper structure)

โครงสร้างหลักของกระดาษประกอบไปด้วยเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) จำนวนมากที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) กระดาษเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยเนื่องจากภายในโครงสร้างมีช่องว่างที่เกิดจากการเกาะเกี่ยวกันของเส้นใยอยู่มาก

เซลลูโลส (cellulose) เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช เป็นพอลิแซคคาไรด์เชิงเส้น (linear polysaccharide) ที่ประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส (glucose) จำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นโซ่ตรงด้วยพันธะเบต้า-1-4 ซึ่งทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสต่างจากโมเลกุลของสตาร์ชทั่วไป



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา: Humphries (2004)

ความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลสเกิดขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของหน่วยกลูโคสในสายพอลิเมอร์และพันธะไฮโดรเจนที่ยึดเส้นใยไว้ พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และออกซิเจน (oxygen) ภายในโมเลกุลของกลูโคสหน่วยเดียวกันเรียกว่า Intramolecular hydrogen bonds ส่วนพันธะที่ยึดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและออกซิเจนที่อยู่ต่างโมเลกุลกัน เรียกว่า Intermolecular hydrogen bonds (Nissan, 1967) พันธะทั้ง 2 พันธะนี้จะสูญเสียความแข็งแรงลงเมื่อเส้นใยเซลลูโลสสัมผัสกับน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกระหว่าง

หมูไฮดรอกซิลและออกซิเจน ในกระบวนการผลิตกระดาษ เมื่อน้ำถูกกำจัดออกไปจะทำให้สายโซ่โมเลกุลอยู่ชิดกันและมีโอกาสที่หมูไฮดรอกซิลบนผิวหน้าของเส้นใยจะมาอยู่ใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นโดยตรง (Hemadi *et al.*, 1977) การเพิ่มพันธะไฮโดรเจนสามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ของการยึดเกาะระหว่างเส้นใยหรือการบดเยื่อให้ละเอียดขึ้น

2. องค์ประกอบของกระดาษ

องค์ประกอบหลักของกระดาษมีทั้งส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ส่วนที่เป็นเส้นใยหรือเยื่อกระดาษ มีทั้งเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว ปริมาณของเยื่อแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษ โดยทั่วไปจะมีปริมาณเยื่ออยู่ที่ร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ นอกจากเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวแล้ว ยังมีการนำเยื่อหมุนเวียน (recycle pulp) มาเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตกระดาษด้วย ซึ่งอัตราส่วนของเยื่อใหม่ต่อเยื่อหมุนเวียนจะแตกต่างกันไปตามคุณภาพของกระดาษและการใช้งานสุดท้ายที่ต้องการ

2.1 ส่วนที่เป็นเส้นใย (fiber)

2.1.1 เยื่อใยสั้น (leaf pulp) ผลิตจากไม้เนื้อแข็งเขตร้อน มีความยาวของเยื่อประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตร เนื่องจากเยื่อใยสั้นมีขนาดเล็ก สามารถแทรกตัวตามช่องว่างของเยื่อใยยาวได้ ทำให้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้นมีคุณสมบัติเด่นคือ ผิวกระดาษมีความเรียบ ทึบแสง เนื้อกระดาษแน่นและสม่ำเสมอ แต่มีข้อเสียคือ ความแข็งแรงทางกลมีน้อยและกระดาษขาดง่าย

2.1.2 เยื่อใยยาว (needle pulp) ผลิตจากไม้เนื้ออ่อนจำพวกสน ขนาดความยาวเยื่อประมาณ 3-3.5 มิลลิเมตร เยื่อที่มีขนาดยาวจะสามารถเกาะเกี่ยวกันได้สูง ทำให้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยยาวมีความแข็งแรง แต่ถ้าใส่ในปริมาณมากเกินไป จะทำให้การกระจายตัวของเยื่อไม่ดี เกิดการจับตัวเป็นก้อนในเนื้อกระดาษ ผิวกระดาษไม่เรียบ

2.1.3 เยื่อหมุนเวียน (recycle pulp) ได้มาจากเศษกระดาษเก่าที่ใช้งานแล้วและเศษกระดาษที่เหลือจากการผลิต เศษกระดาษเหล่านี้จะถูกนำกลับมาที่โรงงานเพื่อย่อยชิ้นส่วนให้มีขนาดเล็กจากนั้นผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เป็นเยื่อ เยื่อที่ได้จากเศษกระดาษเก่าจะมีคุณสมบัติตามเส้นใยเริ่มต้น แต่กระบวนการทำเยื่อจะทำให้เส้นใยมีคุณภาพแย่และมีขนาดสั้นลง (Soroka, 2000)

2.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (non-fiber)

2.2.1 ตัวเติม (filler) สารเคมีชนิดนี้เติมลงไปในการบวนการผลิตกระดาษเพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากสารเคมีที่เป็นตัวเติมส่วนมากมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใย นอกจากนี้ สารตัวเติมยังช่วยเพิ่มทัศนสมบัติ (optical properties) ให้กระดาษ เนื่องจากจะทำให้กระดาษมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและยังทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น ตัวอย่างสารตัวเติม ได้แก่ ดินขาว (kaolin clay) ไททาทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate)

2.2.2 สารกันซึมภายใน (internal sizing agent) เติมลงไปในช่วงขั้นตอนการผลิตเยื่อเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการต้านทานน้ำและของเหลวให้กระดาษ ทำให้กระดาษมีอัตราการดูดซึมลดลง ตัวอย่างสารกันซึม ได้แก่ ชันสน (rosin) ไขผึ้ง (wax) ยางมะตอย (asphalt) เป็นต้น

2.2.3 สารเพิ่มความเหนียว (dry strength agent) เติมลงไปเพื่อให้แรงยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้น ผลที่ได้คือกระดาษมีความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความต้านทานต่อแรงดึง ตัวอย่างสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้มาก ได้แก่ สตาร์ชดัดแปร (modified starch)

2.2.4 สารเพิ่มการตกค้าง (retention aid) เป็นสารเคมีที่ช่วยให้เยื่อและอนุภาคของสารเคมีอื่นๆ เกาะกลุ่มกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้คงค้างอยู่ในเนื้อกระดาษให้มากที่สุด ในขณะที่ขั้นตอนการระบายน้ำบนตะแกรงลวดเดินแผ่น ช่วยลดปัญหาด้านการสูญเสียวัตถุดิบไปกับน้ำ และลดปัญหาในเรื่องการบำบัดน้ำเสีย

2.2.5 สารอื่นๆ เช่น สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (wet strength agent) สารสีย้อม (dye) สารฟอกขาว (optical brightening agent) สารควบคุมจุลชีวะ (microbiological control agent) สารที่ใช้ในการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น

3. สมบัติของกระดาษ (Paper properties)

คุณสมบัติของกระดาษและกระดาษแข็งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตและการใช้งานสุดท้ายที่ต้องการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ สมบัติพื้นฐาน ทัศนสมบัติ สมบัติด้านความแข็งแรงและสมบัติด้านความไวต่อน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (Kline, 1991)

3.1 สมบัติพื้นฐาน (basic properties)

3.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) หมายถึง ค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของกระดาษ นิยมรายงานผลเป็นกรัมต่อตารางเมตร (g/m^2) หรือปอนด์ต่อ 1000 ตารางฟุต 2000 ตารางฟุตหรือ 3000 ตารางฟุต (lb/1000, 2000 or 3000 ft^2) น้ำหนักมาตรฐานมีประโยชน์ใช้ในการควบคุมการผลิตกระดาษ ค่าน้ำหนักมาตรฐานนิยมใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายกระดาษ และเป็นตัวที่จะบ่งบอกถึงสมบัติด้านอื่นๆ ได้ เช่น กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมาก จะมีความแข็งแรง ความหนาและความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานน้อย

3.1.2 ความหนา (thickness) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ นิยมระบุหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือไมโครเมตร (μm) โดยทั่วไปเมื่อกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้น ความหนาของกระดาษมักจะเพิ่มขึ้นและทำให้กระดาษมีสมบัติด้านความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

3.1.3 ความฟุ้งและความหนาแน่น (bulk and density) ความฟุ้งหมายถึงปริมาตรของกระดาษต่อน้ำหนัก มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (cm^3/g) ความฟุ้งเป็นค่าที่แสดงส่วนกลับของความหนาแน่น ซึ่งแสดงน้ำหนักของกระดาษต่อปริมาตรและมีหน่วยหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (lb/ft^3) กระดาษแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่น กระดาษเคลือบไขจะมีความหนาแน่นสูง กระดาษทิชชูจะมีความหนาแน่นต่ำ เป็นต้น

3.1.4 ความชื้น (moisture content) หมายถึง ปริมาณน้ำในแผ่นกระดาษ สามารถผันแปรได้ตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะนั้น สมบัติด้านความชื้นเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่ง เนื่องจากสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระดาษ ความชื้นในกระดาษมากเกินไป จะทำให้กระดาษโค้งงอ เกิดรอยย่น มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและเพิ่มความลำบากในการเคลื่อนย้าย แต่หากความชื้นในกระดาษน้อยเกินไป จะส่งผลให้กระดาษกรอบ ขาดความยืดหยุ่น เป็นต้น กระดาษทั่วไปอาจมีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 3 ถึง 7 (Kline, 1991) หรือร้อยละ 6 ถึง 9 (บริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม) ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษและวัสดุที่นำมาใช้ผลิต

เนื่องจากปริมาณความชื้นในกระดาษสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังนั้นก่อนการทดสอบกระดาษทุกชนิดจึงจำเป็นต้องทำการปรับสภาพ โดยนำตัวอย่างกระดาษเก็บในบรรยากาศควบคุมเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เช่น มาตรฐาน ASTM D 685 ได้กำหนดให้หน้าตัวอย่างกระดาษเก็บไว้ในสถานะอุณหภูมิ 23.0 ± 1.0 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50.0 ± 2.0 (ASTM International, 2004a) มาตรฐาน ASTM D 4332 กำหนดสภาวะทดสอบสำหรับห้องแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5.0 ± 2.0 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ± 5 (ASTM, 2001) สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทยนั้นกำหนดให้มีการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 27.0 ± 1.0 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65.0 ± 2.0 เป็นต้น (International Organization for Standardization, 1984)

3.2 คุณสมบัติ (optical properties)

3.2.1 ความสว่าง (brightness) หมายถึงค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร เยื่อกระดาษที่ไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มถึงเหลืองอ่อน เนื่องจากลิกนินดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ แต่เมื่อนำเยื่อไปฟอกแล้ว ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินจะสูงขึ้น ทำให้มองเห็นกระดาษขาวสว่างมากขึ้น ความสว่างของกระดาษมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะสำหรับกระดาษที่ต้องนำไปใช้ในกระบวนการพิมพ์

3.2.2 ความทึบแสง (opacity) เป็นสมบัติของกระดาษที่จะบดบังสิ่งที่อยู่ข้างหลัง ขึ้นกับการกระจายแสงและการดูดซับแสงของเยื่อและสารเคมีต่างๆ ในเนื้อกระดาษ วัดค่าเป็นร้อยละของความทึบแสง เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมากอาจมีปัญหาในเรื่องความทึบแสง การใช้ตัวเติมจะช่วยเพิ่มความกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้ ค่าความทึบแสงมีค่ามากที่สุดเป็นร้อยละ 100 กระดาษสำหรับพิมพ์งานทั่วไปมีค่าความทึบแสงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 90

3.3 สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties)

3.3.1 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานต่อแรงดึงที่กระทำที่ปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด วัดค่าออกมาเป็นแรงที่ใช้ดึงให้ตัวอย่างขาด โดยมีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m) หรือ ปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in) ความต้านทานแรงดึงมีความสำคัญสำหรับกระดาษที่ต้องผ่านการพิมพ์ เนื่องจากในเครื่องพิมพ์จะมีลูกกลิ้งสำหรับดึงให้กระดาษเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ยัง

จำเป็นสำหรับลักษณะบรรจุกระดาษที่ต้องรองรับแรงดึงได้ดี เช่น ถุงกระดาษ ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของกระดาษ ได้แก่ ชนิดเยื่อ ปริมาณการบดเยื่อ ปริมาณการกรดรีดน้ำ น้ำหนักมาตรฐานกระดาษ ปริมาณของตัวเติม และปริมาณความชื้นในกระดาษ การเพิ่มความต้านทานแรงดึงสามารถทำได้โดยการเลือกใช้เยื่อใยยาวและการบดเยื่อ เพราะเป็นการทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะระหว่างกันได้มากขึ้น

3.3.2 ความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานต่อแรงดันที่กระทำบนแผ่นกระดาษ วัดค่าออกมาเป็นแรงดันที่ทำให้แผ่นตัวอย่างขาด มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) กิโลปาสคาล (kPa) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2) ความต้านทานแรงดันทะลุเกี่ยวข้องกับพันธะที่ยึดกันระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น ถ้าแรงยึดเกาะมีสูง กระดาษจะมีความต้านทานต่อแรงดันทะลุได้ดีขึ้น การเพิ่มความต้านทานแรงดันทะลุให้กระดาษสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณการบดเยื่อและเติมสารเพิ่มความแข็งแรงที่ผิว

3.3.3 ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ring crush strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานแรงกดในแนวระนาบเดียวกับกระดาษจนขอบกระดาษหักพับ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) เป็นค่าที่นิยมใช้ทดสอบกระดาษทำฝีกกล่องและกระดาษทำลูกฟูก เมื่อทราบความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษลูกฟูกแล้วจะสามารถคำนวณกลับไปเป็นความแข็งแรงโดยรวมของกล่องลูกฟูกได้

3.3.4 ความต้านทานแรงฉีก (tear strength) วัดได้จากค่าเฉลี่ยของแรงที่ใช้ในการทำให้กระดาษซึ่งถูกฉีกให้ขาดไว้แล้วขาดอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยเป็นมิลลินิวตัน (mN) การนำเยื่อใยยาวมาใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตกระดาษและการเพิ่มปริมาณการบดเยื่อ จะช่วยให้กระดาษมีความต้านทานแรงฉีกได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การบดเยื่อมากเกินไปจะทำให้เยื่อมีขนาดสั้นลง มีผลให้ความต้านทานแรงฉีกลดลงแม้ว่าเส้นใยจะมีการสร้างพันธะระหว่างกันได้มากก็ตาม

3.3.5 ความต้านทานการพับ (fold strength) หมายถึงจำนวนครั้งของการหักพับไปมาของกระดาษจนกระทั่งกระดาษขาดออกจากกัน โดยการให้แรงดึงในการทดสอบตามมาตรฐานกำหนด เช่น 1 กิโลกรัม เป็นต้น พับกระดาษด้วยมุม 270 องศา สมบัติด้านนี้มีความจำเป็นสำหรับกระดาษที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีการพับมาก เช่น ซองจดหมาย กล่องกระดาษ เป็นต้น

3.4 สมบัติด้านความไวต่อน้ำ (water sensitivity)

3.4.1 ความคงตัวต่อรูปร่าง (dimensional stability) หมายถึง ความสามารถของแผ่นกระดาษที่จะต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำ เนื่องจากเมื่อกระดาษสัมผัสกับน้ำ เส้นใยเซลลูโลสจะบวมและแยกออกจากกัน ทำให้ความหนาของกระดาษค่อยๆ เพิ่มขึ้น และทำให้ขนาดของกระดาษมีการเปลี่ยนแปลงไป การขยายของขนาดนี้จะเกิดขึ้นกับกระดาษในทิศทางเครื่องจักร (cross-machine direction, MD) มากกว่าในทิศตามเครื่องจักร (machine direction, CD)

3.4.2 การดูดซึม (absorption) ของกระดาษเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมากต่อการนำไปใช้ประโยชน์ นิยมวัดเป็นปริมาณของของเหลวที่ถูกดูดซึมทั้งหมดต่อพื้นที่ภายในเวลาที่กำหนด (ASTM International, 2004f) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษว่าจะมีการดูดซึมมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดสอบ

4. กระดาษคราฟท์ (Kraft paper)

กระดาษคราฟท์หรือกระดาษเหนียว หมายถึง กระดาษที่ผลิตจากเยื่อซัลเฟตล้วนๆ หรืออย่างน้อยต้องมีเยื่อซัลเฟตอยู่ร้อยละ 80 และมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของความแข็งแรง โดยเฉพาะความต้านทานแรงฉีก ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงหักพับ กระดาษคราฟท์ที่นำมาใช้งานส่วนมากเป็นชนิดที่ยังไม่ผ่านการฟอกขาวซึ่งมีธรรมชาติเป็นสีน้ำตาลคล้ำ นำมาใช้ในการห่อสินค้าต่างๆ ไป ส่วนกระดาษคราฟท์ที่ฟอกนั้นจะมีสีน้ำตาลสว่าง สีครีมหรือสีขาว มักนำมาใช้ห่อสินค้าจำพวกเสื้อผ้า อาหาร ยาและเครื่องเขียน (อัญชลี, 2545)

กระดาษคราฟท์เป็นกระดาษที่มีคุณสมบัติแข็งแรงมากที่สุดและมีการนำมาใช้มากที่สุดในการหีบห่อ (อัญชลี, 2545) ในปัจจุบันมีการแบ่งกระดาษคราฟท์ตามลักษณะการใช้งานได้ 4 ประเภทเรียงลำดับตามสัดส่วนการผลิตดังนี้คือ กระดาษคราฟท์สำหรับทำผิวกล่องมีสัดส่วนการผลิตร้อยละ 56 ของปริมาณการผลิตกระดาษคราฟท์ทั้งหมด กระดาษคราฟท์สำหรับทำลอนมีสัดส่วนการผลิตร้อยละ 31 กระดาษคราฟท์สำหรับทำแกนกระดาษมีสัดส่วนการผลิตร้อยละ 8 และกระดาษคราฟท์สำหรับทำถุงหลายชั้นมีสัดส่วนการผลิตร้อยละ 5 (วิทธิชัย, 2548)

การดูดซึมน้ำของกระดาษ

องค์ประกอบหลักในกระดาษคือเส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก สามารถถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้กระดาษเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic material) ในขั้นตอนการทำแห้งของกระบวนการผลิตกระดาษนั้น โมเลกุลน้ำจะถูกดึงออกจากเส้นใย เกิดพันธะไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวเส้นใยแต่ละเส้นเข้าไว้ด้วยกันจนเป็นแผ่นกระดาษ โดยไม่ต้องใช้กาว เมื่อกระดาษสัมผัสน้ำอีกครั้ง โมเลกุลน้ำจะเข้ามาแทนที่พันธะไฮโดรเจน ทำให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลง

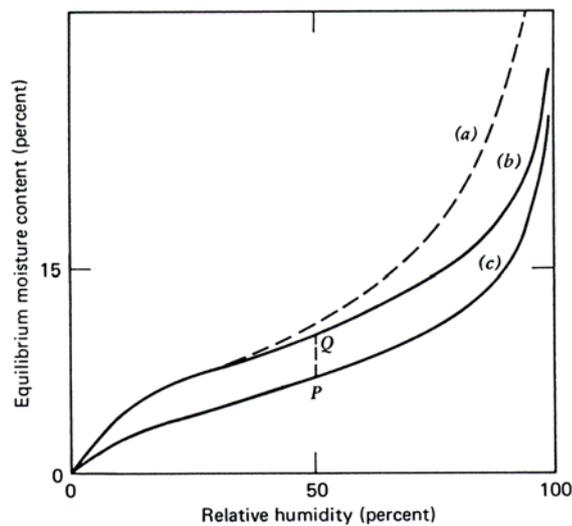
Davison and Spurlin (1970) กล่าวว่า ผิวหน้าของกระดาษมีรูพรุนที่เกิดจากการสานกันของเส้นใยอยู่มาก เมื่อกระดาษสัมผัสของเหลวจะมีพฤติกรรมเหมือนฟองน้ำคือดูดซับของเหลวไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ผิวกระดาษเปียก ต่อมาน้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างของกระดาษผ่านช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น จากนั้นจึงเกิดกลไกการสร้างพันธะกับเส้นใยเซลลูโลส

โดยทั่วไปแล้วกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารกันซึมจะมีคุณสมบัติชอบน้ำ เมื่อหยดน้ำซึมเข้าสู่กระดาษ อาจเกิดการซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเส้นใยหรืออาจถูกเส้นใยดูดซึมไว้ได้ ซึ่งถ้าเกิดการซึมผ่านทางช่องว่างจะมีการดูดซึมอย่างรวดเร็ว แต่หากเป็นการถูกดูดซึมโดยเส้นใยเซลลูโลสนั้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (Keskitalo, 2000)

คุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษอีกชนิดหนึ่งคือ การดูดคายความชื้น (hygroscopic) ดังนั้นกระดาษจะสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้โดยมีอัตราเร็วในการดูดความชื้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิขณะนั้น และกระดาษยังสามารถสูญเสียความชื้นสู่บรรยากาศได้ด้วยเช่นกัน อัตราเร็วในการคายความชื้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในกระดาษและอุณหภูมิขณะนั้น เมื่ออัตราเร็วในการดูดและคายเท่ากันแสดงว่า ปริมาณความชื้นในกระดาษเข้าสู่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์หรืออุณหภูมิในอากาศเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ปริมาณความชื้นในกระดาษจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน (Brandon, 1983) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณความชื้นสมดุลในกระดาษจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ กระดาษมีการดูดความชื้น (adsorption) จากบรรยากาศ หรือคายความชื้น (desorption) ออกสู่บรรยากาศ

ณ อุณหภูมิคงที่ เมื่อนำปริมาณความชื้นในกระดาษกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาสร้างกราฟความสัมพันธ์จะได้กราฟที่เรียกว่า moisture sorption isotherm ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 2 ใน

กระบวนการผลิตกระดาษระหว่างขั้นตอนการทำแห้ง ปริมาณความชื้นในกระดาษที่ลดลงแสดงได้ดังกราฟเส้น (a) หากนำกระดาษแผ่นเดียวกันไปไว้ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง กระดาษจะดูดความชื้นแล้วทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ลักษณะการเพิ่มของความชื้นนี้แสดงดังกราฟเส้น (c) หลังจากนั้นถ้ากระดาษถูกนำไปวางในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง กระดาษจะค่อยๆ คายความชื้นออกทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ลักษณะการลดลงของความชื้นครั้งนี้แสดงดังกราฟเส้น (b) สังเกตได้ว่า เมื่อกระดาษมีการดูดความชื้นเข้าไปและคายความชื้นออกมานั้น อัตราเร็วในการดูดและคายจะไม่เท่าเดิมทำให้เส้นกราฟของการดูดและคายความชื้นนั้นไม่เป็นเส้นเดียวกัน และระยะห่างระหว่างเส้นดูดและคายความชื้นของกระดาษจะเรียกว่า hysteresis



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความชื้นสมดุลของเยื่อเซลลูโลส
ที่มา: Brandon (1983)

จากภาพที่ 2 นั้นพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟดูดและคายความชื้นมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 65 โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเปลี่ยนแปลงไปประมาณร้อยละ 10 จะทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเปลี่ยนแปลงเพียงร้อยละ 1 แต่ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ความชื้นสมดุลในกระดาษจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ลักษณะของเส้นกราฟที่เป็นรูปตัวเอส (sigmoid shape) เป็นลักษณะกราฟแสดงการดูดความชื้นของวัสดุประเภทที่มาจากธรรมชาติ (Blahovec, 2004) เช่น กระดาษกราฟที่ผ่านการทำให้อืดตัวด้วยสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ

กระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Dury-Brun *et al.*, 2006) และกระดาษกราฟที่ผ่านการทำให้อิมตัวด้วยสตาร์ชอะซิเตต (Larotonda *et al.*, 2005)

นอกจากนี้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศจะส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในกระดาษด้วย แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นสมดุลของกระดาษและกระดาษแข็งที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศคงที่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นของกระดาษลดลง ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิของอากาศคงที่ หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ความชื้นของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นสมดุล (ร้อยละ) ของกระดาษและกระดาษแข็งที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

Temperature		Relative Humidity								
°C	(°F)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-1.1	(30)	2.5	4.3	6.0	7.3	8.3	9.6	12.3	15.5	22.5
4.4	(40)	2.4	4.3	5.9	7.3	8.1	9.4	12.1	15.4	22.0
10.0	(50)	2.4	4.2	5.8	7.2	8.0	9.2	11.9	15.3	21.5
15.6	(60)	2.3	4.2	5.8	7.1	7.9	9.1	11.7	15.2	21.0
21.1	(70)	2.2	4.0	5.8	7.0	7.8	9.0	11.4	15.0	20.5
26.7	(80)	2.1	4.0	5.7	6.9	7.7	8.8	11.2	14.8	20.0
32.2	(90)	2.0	4.0	5.5	6.7	7.5	8.6	11.0	14.4	19.8
37.8	(100)	1.9	3.8	5.3	6.5	7.3	8.4	10.7	14.0	19.5
43.3	(110)	1.9	3.7	5.1	6.2	7.0	8.2	10.4	13.7	19.1
48.9	(120)	1.8	3.5	4.8	5.9	6.7	7.8	10.1	13.2	18.6
54.4	(130)	1.8	3.4	4.6	5.5	6.4	7.5	9.7	12.7	18.0
60.0	(140)	1.8	3.2	4.3	5.2	6.1	7.1	9.3	12.3	17.5
65.6	(150)	1.6	2.9	4.1	4.9	5.8	6.7	8.8	11.9	16.9
71.1	(160)	1.5	2.7	3.8	4.6	5.4	6.3	8.4	11.3	16.3

ที่มา: Soroka (2000)

Clark (1978) กล่าวว่า กลไกการดูดความชื้นของกระดาษเกี่ยวข้องกับลำดับชั้นของโมเลกุลน้ำกับผิวของวัสดุที่มีการดูดซึม โดยโมเลกุลของน้ำยึดเกาะกับเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจน ที่บริเวณผิวกระดาษโมเลกุลของน้ำในชั้นแรกที่อยู่ติดกับผิวกระดาษจะมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ทำให้ความหนาแน่นของของน้ำบริเวณที่ผิวกระดาษมีค่าสูง ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิ 150 °ซ ในการระเหยน้ำในชั้นนี้ออกไป หลังจากโมเลกุลน้ำในชั้นแรกยึดติดกับผิวกระดาษแล้ว หมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่อีกด้านหนึ่งของโมเลกุลน้ำจะหันออกเพื่อสร้างพันธะกับโมเลกุลน้ำในชั้นที่สอง การจัดเรียงตัวของโมเลกุลน้ำในชั้นที่สองจะมีความเป็นระเบียบน้อยลง ทำให้ความหนาแน่นและแรงยึดเกาะในบริเวณนี้น้อยกว่าในชั้นแรก ต่อมาหมู่ไฮดรอกซิลอีกด้านหนึ่งของโมเลกุลน้ำในชั้นที่สองจะสร้างพันธะยึดเกาะกับโมเลกุลน้ำในชั้นที่สามและถัดออกไปเรื่อยๆ ยิ่งระดับชั้นห่างจากผิวกระดาษมากเท่าไร ความเป็นระเบียบ ความหนาแน่นและแรงยึดเกาะของโมเลกุลน้ำจะยิ่งน้อยลงเท่านั้น ที่อุณหภูมิห้อง จำนวนชั้นที่โมเลกุลน้ำสามารถยึดเกาะกันได้มีค่าประมาณ 7 ชั้น แต่อาจมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ได้ขึ้นอยู่กับสมบัติการดูดและคายความชื้นของวัสดุ

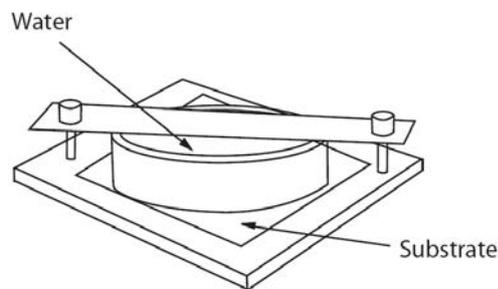
1. การทดสอบระดับความต้านทานน้ำ (water resistance test)

การทำให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานน้ำหรือของเหลว สามารถนิยามในเชิงคุณภาพได้ว่า มีระดับความต้านทานต่ำ กลางหรือสูง แต่จะนิยามให้เข้าใจในเชิงปริมาณนั้นทำได้ยาก ผู้ผลิตและผู้ใช้กระดาษอาจต้องการระดับการซีมน้ำขนาดต่ำ เช่น ช่วยป้องกันการซีมของสารละลายในบริเวณชุดลูกกลิ้งเป็นระยะเวลาหนึ่ง หรือต้องการในระดับสูง เช่น ต้องการให้ป้องกันการซีมของน้ำได้เป็นวันหรือสัปดาห์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีวิธีการที่ทำให้เข้าใจถึงระดับความต้านทานของเหลวที่สามารถระบุเป็นตัวเลขได้ นอกจากจะทำให้สื่อสารกันเป็นที่เข้าใจแล้ว ยังเป็นการช่วยให้สามารถควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีได้ดีขึ้น และทราบถึงความสามารถของสารเคมีชนิดต่างๆ ต่อการเป็นสารกันซีมได้ด้วย (Keavney and Kulick, 1983) วิธีการทดสอบที่นิยมใช้เพื่อทดสอบระดับความต้านทานน้ำของกระดาษมี 3 วิธี ดังนี้

1.1 Cobb test

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบระดับความต้านทานน้ำของกระดาษ เป็นวิธีที่ง่ายและใช้อุปกรณ์ทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นต่อชนิดของของเหลวที่ใช้ อุปกรณ์ประกอบไปด้วยฐานที่ทำจากโลหะและวงแหวนโลหะ (ภาพที่ 3) ก่อนการทดสอบจะซั่ง

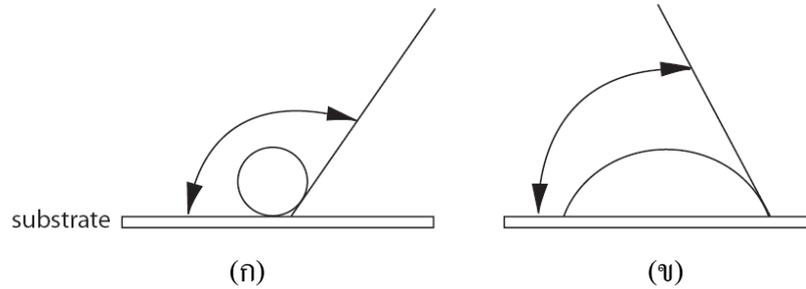
น้ำหนักกระดาษตัวอย่างไว้ โดยตัวอย่างจะมีขนาดใหญ่กว่าวงแหวนเล็กน้อย นำตัวอย่างวางบนฐานโลหะทับด้วยวงแหวนโลหะ จากนั้นเทของเหลว (ทั่วไปคือน้ำกลั่น) ลงในบริเวณวงแหวนที่รู้พื้นที่แน่นอน ทิ้งไว้เป็นเวลาหนึ่ง เทน้ำกลั่นออกจากวงแหวน ชับของเหลวส่วนเกินออกจากผิวตัวอย่าง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง รายงานผลเป็นน้ำหนักของของเหลวที่ถูกกระดาษตัวอย่างดูดซับไว้ต่อพื้นที่กระดาษ (กรัมต่อตารางเมตร) สำหรับมาตรฐาน ASTM D 3285-93 ได้กำหนดขนาดพื้นที่วงแหวนไว้ 100 ตารางเซนติเมตร น้ำกลั่นที่ใช้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ทดสอบคือ 120 วินาที หรืออาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับระดับความต้านทานน้ำของกระดาษ (ASTM International, 2004f)



ภาพที่ 3 ชุดทดสอบ Cobb test

1.2 Contact angle test

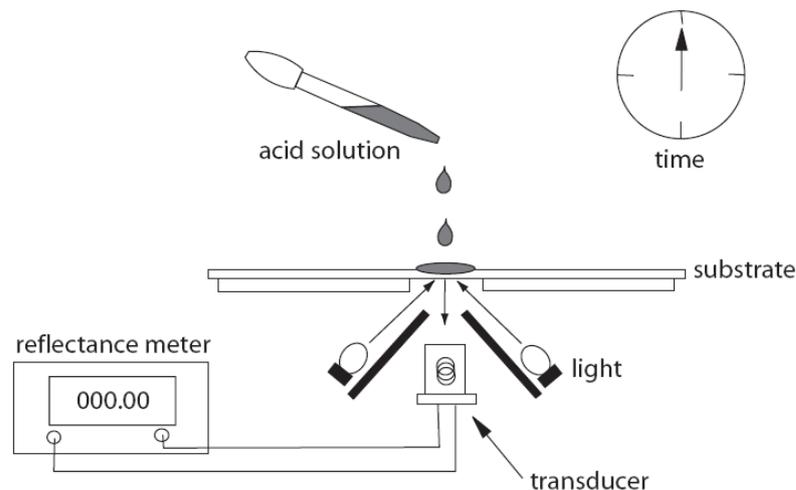
Contact angle test เป็นวิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ถ้าค่าพลังงานที่ผิว (surface energy) ของวัสดุมีค่ามากกว่าพลังงานของของเหลว วัสดุนั้นจะดูดซึมของเหลวไว้ได้ ซึ่งคำว่า Contact angle จะหมายถึง มุมที่ของเหลวทำกับผิวของวัสดุ ดังภาพที่ 4 โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดสอบ การวัดค่ามุมนี้เป็นพื้นฐานของการวัดสมบัติการเปียก (wettability) ของผิววัสดุ กระดาษที่ดูดซึมน้ำได้ดีจะมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเท่ากับ 0 องศา เมื่อมีการเติมสารกับซึมแล้ว ผิวหน้ากระดาษจะมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ จึงเป็นการเพิ่มมุมสัมผัสและลดอัตราการแพร่ของน้ำ ถ้ามุมนี้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 90 องศา แสดงว่าไม่มีการแทรกซึมของน้ำลงสู่กระดาษ นอกจากนี้จะมีแรงภายนอกมากระทำ



ภาพที่ 4 มุมที่หยดน้ำทำกับกระดาษ (ก) ไม่มีการดูดซึม (ข) มีการดูดซึม

1.3 Hercules sizing test (HST test)

Hercules sizing test เป็นอีกวิธีหนึ่งของการทดสอบสมบัติการดูดซึมของกระดาษ โดยจะใช้สารละลายมาตรฐานเป็นตัวแทนหมึกพิมพ์ ซึ่งจะมีทั้งสารละลายที่เป็นกรดและด่าง อุปกรณ์ในการทดสอบแสดงดังภาพที่ 5 วิธีการทดสอบเริ่มจากหยดสารละลายมาตรฐานลงบนผิวกระดาษ ด้านบน ที่ด้านล่างจะมีไฟส่องและอุปกรณ์ต่อเชื่อมเพื่อวัดค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ ก่อนเริ่มทดสอบกระดาษจะมีค่าการสะท้อนแสงเป็นร้อยละ 100 เมื่อสารละลายค่อยๆ ซึมลงสู่กระดาษ ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง บันทึกเวลาที่ใช้ทำให้ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษลดลงเหลือร้อยละ 80 รายงานผลเป็นนาทีหรือวินาที ดังนั้น กระดาษที่มีความต้านทานต่อของเหลวได้ดี จะทำให้สารละลายซึมลงสู่กระดาษได้ช้า เวลาที่ใช้ทำให้ค่าการสะท้อนแสงลดเหลือร้อยละ 80 จะมีค่ามาก ดังนั้นค่า HST ที่มาก หมายถึงกระดาษมีความต้านทานต่อการซึมของเหลวได้ดี



ภาพที่ 5 Hercules sizing test

นอกจากวิธีดังกล่าวแล้ว ยังสามารถทดสอบความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษได้ด้วยวิธีอื่น ๆ อีก เช่น การหยดน้ำลงบนผิวกระดาษแล้วจับเวลาที่หยดน้ำซึมเข้าสู่กระดาษ (drop test) หรือพ่นน้ำลงบนผิวกระดาษแล้วสังเกตลักษณะการเปียกผิวของกระดาษ (spray test) เป็นต้น

การฉาบสารกันซึมหรือการเคลือบสารกันซึม

การทำให้กระดาษกันซึม หมายถึง กระบวนการที่มีการนำสารเคมีมาใช้ทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งแล้วทำให้กระดาษหรือกระดาษแข็งมีความต้านทานต่อการเปียกน้ำและต้านทานต่อการแทรกซึมของของเหลวได้ (Davison and Spurlin, 1970) วิธีการที่จะทำให้กระดาษกันซึมได้ เรียกว่า การฉาบสารกันซึมหรือการเคลือบสารกันซึม (surface sizing) ซึ่งหมายถึงการเติมสารกันซึม (sizing agent) ในบริเวณชุดลูกกลิ้งฉาบผิว (size press) สารกันซึมจะเคลือบเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ อยู่บนผิวกระดาษแล้วทำให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานน้ำและของเหลวได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ผิว (surface properties) ดีขึ้น เช่น ความเรียบ เป็นต้น กระดาษที่ใช้สำหรับการพิมพ์ การเขียนและการหีบห่อ นั้น การเคลือบผิวด้วยสารกันซึมจะมีความสำคัญเพราะช่วยให้ผิวกระดาษมีความแข็งแรงขึ้น ไม่หลุดลอกเมื่อมีการพิมพ์ด้วยหมึกที่ข้นเหนียว

วิธีการอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้กระดาษกันซึมได้ คือ การเติมสารกันซึมภายใน (internal sizing) โดยการเติมสารกันซึมลงในน้ำเยื่อในช่วงของการผลิตกระดาษ (wet end) ก่อนขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ สารกันซึมจะทำปฏิกิริยากับเส้นใยแล้วทำให้โครงสร้างกระดาษต้านทานการซึมน้ำได้ ภาชนะบรรจุที่ทำจากกระดาษส่วนมากจะมีการเติมสารกันซึมภายในเพื่อลดระดับการดูดซึมน้ำให้กระดาษ สารที่นิยมใช้เป็นสารกันซึมภายใน ได้แก่ ชันสน สารสังเคราะห์ Alkyl ketene dimer (AKD) และ Alkenyl succinic anhydride (ASA) เป็นต้น แต่การใช้ชันสนเป็นสารกันซึมภายในนั้นต้องการสารส้ม เป็นตัวช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านการซึมน้ำ ซึ่งสารส้มเป็นสาเหตุให้กระดาษมีสภาพเป็นกรดเมื่อสัมผัสน้ำ (Wang and Wang, 2001) ส่วนสารสังเคราะห์ยังมีข้อจำกัดด้านการใช้งานเนื่องจากมีราคาแพง นอกจากนี้การเติมสารกันซึมภายในมากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยลดลง วิธีการที่จะทำให้กระดาษมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 10 กรัมต่อตารางเมตร สามารถทำได้โดยการเติมสารกันซึมภายในร่วมกับการฉาบด้วยสารกันซึมเท่านั้น (Andersson and Järnström, n.d.)

1. สารกั้นซึม (sizing agent)

ในอดีตสารกั้นซึมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ สารละลายสตาร์ช (starch solution) แต่อย่างไรก็ตาม สารละลายสตาร์ชเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะลดการดูดซึมน้ำให้กระดาษและกระดาษแข็งได้ (Richard *et al.*, 2004) ปัจจุบันมีการผลิตพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่อใช้เป็นสารกั้นซึม โดยใช้ผสมลงในสารละลายสตาร์ช Thiele and Hauschel (2002) กล่าวว่า การนำสารละลายสตาร์ช มาผสมร่วมกับสารกั้นซึมที่ทำจากพอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นวิธีที่ทำให้การฉาบด้วยสารกั้นซึมมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยสารกั้นซึมจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จะช่วยทำให้ผิวกระดาษมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ส่วนสารละลายสตาร์ชจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงให้กระดาษได้ (Thümmes *et al.*, 2002) ซึ่งความแข็งแรงของกระดาษที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการซึมของสารละลายสตาร์ชเข้าสู่โครงสร้างของกระดาษ ดังผลการทดลองของ Lipponen *et al.* (2003) ที่นำสตาร์ชตัดแปรมาเคลือบผิวกระดาษและศึกษาผลของการซึมของสตาร์ชสู่โครงสร้างกระดาษที่มีต่อคุณสมบัติของกระดาษที่ได้ พบว่าเมื่อมีปริมาณสารละลายสตาร์ชถูกดูดซึมเข้าสู่โครงสร้างกระดาษเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงภายใน (internal strength) ของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย

สารกั้นซึมจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีการผลิตใช้ในทางการค้ามีหลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม (Ranson, 2004) คือ

1.1 ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มสารละลาย (solution products) สารกั้นซึมที่อยู่ในรูปของสารละลาย ได้แก่ styrene maleic anhydride solution (SMA) และ styrene acrylic acid solution (SAA) ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้จะมีความสามารถในการผสมได้ดีกับสารละลายสตาร์ชและมีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้เคลือบบนกระดาษที่ผ่านการเดิมสารกั้นซึมภายในเพียงเล็กน้อย แต่ข้อเสียคือ ประกอบไปด้วยของแข็งในปริมาณที่น้อยและมีแนวโน้มที่จะเกิดฟองอากาศได้ง่าย

1.2 ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มสารกระจายหรือสารแขวนลอย (dispersion/emulsion products) สารกั้นซึมที่อยู่ในรูปของสารละลาย ได้แก่ styrene acrylic emulsion (SAE) และ polyurethane dispersion (PUD) ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ในการใช้งานต้องผสมร่วมกับสารละลายสตาร์ชเท่านั้น ใช้งานได้ดีในการเคลือบบนกระดาษที่ผ่านการเดิมสารกั้นซึมภายในปานกลางจนถึงมาก ประกอบไปด้วยของแข็งในปริมาณมากและมีแนวโน้มที่จะเกิดฟองอากาศได้น้อย

Thiele and Hauschel (2002) ได้ทดลองนำสารกันซึมที่ใช้ในทางการค้า 4 ชนิด ได้แก่ สารในกลุ่มของ SMA SAA SAE และ PUD ผสมกับสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 เคลือบบนผิวกระดาษกราฟท์ โดยใช้กระดาษกราฟท์ 2 ชนิด คือ กระดาษกราฟท์ที่เติมสารกันซึมภายในและกระดาษกราฟท์ที่ไม่ได้เติมสารกันซึมภายใน ผลการทดลองพบว่า สารเคลือบกันซึมในกลุ่มของ SAE มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยทำให้กระดาษกราฟท์หลังเคลือบมีการดูดซึมน้ำลดลงมากที่สุด ไม่ว่าจะใช้กับกระดาษกราฟท์ที่ผ่านการเติมสารกันซึมภายในหรือไม่เติมก็ตาม

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลือบสารกันซึม

2.1 ปริมาณความชื้นในกระดาษ

ปริมาณความชื้นในกระดาษ หมายถึง ปริมาณความชื้นของกระดาษบนเครื่องเดินแผ่นกระดาษก่อนจะเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งฉาบผิว ควรจะมีปริมาณความชื้นที่สม่ำเสมอเพราะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับสารกันซึมในบริเวณชุดลูกกลิ้งฉาบผิว โดยพบว่า เมื่อกระดาษมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับสารกันซึมจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้กระดาษที่ได้มีระดับความต้านทานน้ำสูงขึ้น แต่ความชื้นมากเกินไปอาจทำให้กระดาษโค้งงอก่อนเข้าสู่การเคลือบผิวได้เช่นกัน (Cushing, 1979)

2.2 ปริมาณของสารกันซึมที่เติมภายในเยื่อกระดาษ

ปริมาณสารกันซึมที่เติมในเยื่อกระดาษจะมีผลต่อความสามารถในการรับสารกันซึมในบริเวณชุดลูกกลิ้งฉาบผิวเช่นกัน เนื่องจากการใช้สารกันซึมในเยื่อกระดาษจะทำให้กระดาษมีความต้านทานต่อของเหลวได้ดีขึ้น และสารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวกระดาษนั้นก็อยู่ในรูปของของเหลวเช่นเดียวกัน ดังนั้น การใช้สารกันซึมเติมในเยื่อกระดาษมากเกินไป จะทำให้กระดาษมีแนวโน้มที่จะได้รับกันซึมในชุดลูกกลิ้งฉาบผิวลดลง (Cushing, 1979)

2.3 ชนิดของสารกันซึม

ชนิดของสารกันซึมมีผลต่อการฉาบด้วยสารกันซึม เนื่องจากสารกันซึมที่ใช้สำหรับฉาบผิวกระดาษนั้นมีหลายชนิด และแต่ละชนิดมีผลต่อประสิทธิภาพในการต้านทานน้ำให้กระดาษ

รวมถึงความเข้ากันกับกระดาษที่นำมาเคลือบได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของสารกันซึมให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยพิจารณาจากชนิดของเยื่อกระดาษ ประสิทธิภาพที่ต้องการ ได้รับและปริมาณของสารกันซึมภายในที่เติมลงไป เป็นต้น

2.4 ความเข้มข้นของสารกันซึม

เมื่อความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษหลังจาทดสอบด้วยสารกันซึมไม่เพียงพอ สิ่งแรกที่คุณผลิตกระดาษมักให้ความสนใจคือ การเพิ่มความเข้มข้นของสารกันซึม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณเนื้อสารที่จะอยู่บนผิวกระดาษให้มากขึ้น ส่งผลทำให้กระดาษมีระดับความต้านทานน้ำสูงขึ้น

Mutsui *et al.* (2004) ได้ทดลองนำกระดาษที่ผลิตจากเยื่อผสมระหว่างกากมันสำปะหลังและเยื่อคราฟท์ ทำให้กระดาษอิมตัวด้วยสารละลายสตาร์ชอะซิเตต (starch acetate) ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform) แปรอัตราส่วนของสตาร์ชอะซิเตตต่อคลอโรฟอร์มที่ 1:5 และ 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นศึกษาคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ปรับสภาพกระดาษจะมีการดูดซึมน้ำประมาณ 800 กรัมต่อตารางเมตร ตัวอย่างที่ปรับสภาพด้วยสารละลายอัตราส่วน 1:10 มีค่าการดูดซึมน้ำประมาณ 270-340 กรัมต่อตารางเมตร และตัวอย่างที่ปรับสภาพด้วยสารละลายอัตราส่วน 1:5 มีค่าการดูดซึมน้ำประมาณ 220-260 กรัมต่อตารางเมตร แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชอะซิเตตนั้น มีผลทำให้กระดาษมีการดูดซึมน้ำลดลงได้

2.5 ความสามารถในการสร้างแผ่นฟิล์มบนผิวกระดาษ

Xu *et al.* (2005) ทำการทดลองเพื่อยืนยันว่าระดับความต้านทานน้ำของกระดาษที่เคลือบด้วยสารกันซึมขึ้นกับความสามารถในการสร้างแผ่นฟิล์มที่ต่อเนื่องบนผิวกระดาษ โดยนำกระดาษเคลือบด้วย Polymethyl methacrylate (PMMA) และ Poly(Methyl methacrylate-co-Butyl methacrylate) (Poly(MMA-co-BMA)) ซึ่งเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคและประจุต่างกัน พบว่า PMMA เป็นสารที่มีการกระจายตัวบนผิวกระดาษได้ไม่ดี เมื่อส่องดูภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) จะมองเห็นสารกระจุกตัวเป็นก้อนอยู่บริเวณเส้นใยมองเห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยซึ่งทำให้กระดาษยังคงดูดซึมน้ำได้คืออยู่ ส่วนสาร Poly(MMA-co-

BMA) มีความสามารถในการกระจายตัวสร้างแผ่นฟิล์มบนผิวกระดาษได้ดีกว่า ผิวกระดาษมีความสม่ำเสมอขึ้นและทำให้ระดับความต้านทานน้ำของกระดาษดีขึ้น

2.6 อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง

เนื่องจากการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้กระดาษหลังจากเคลือบด้วยสารกันซึมแห้งเร็วขึ้น เมื่อน้ำระเหยออกไปจากผิวกระดาษ เนื้อสารจะสร้างพันธะยึดกันอยู่บนผิวกระดาษได้มากขึ้น ในทางตรงข้าม หากใช้อุณหภูมิต่ำและเวลานานในการทำแห้ง เนื้อสารส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่โครงสร้างกระดาษแทนที่จะอยู่บนผิว ส่งผลให้การต้านทานน้ำของกระดาษต่ำลง

Andersson and Järnström (n.d.) นำสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch) มาเคลือบกระดาษแล้วศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้งกระดาษต่อร้อยละของสตาร์ชที่ถูกดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างกระดาษ โดยแปรอุณหภูมิทำแห้ง 2 ระดับคือ 23 °ซ เวลา 2 วัน และ 80 °ซ เวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณของสตาร์ชที่ถูกดูดซึมเข้าไปในกระดาษร้อยละ 15 ในขณะที่ตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 23 °ซ เป็นเวลา 2 วัน มีปริมาณของสตาร์ชที่ถูกดูดซึมเข้าไปในกระดาษร้อยละ 19

Xu *et al.* (2005) นำสารละลายพอลิอะคริเลท (polyacrylate) มาเคลือบกระดาษ แล้วศึกษาถึงปัจจัยของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษ โดยแปรอุณหภูมิทำแห้ง 5 ระดับคือ 90 100 120 140 และ 160 °ซ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิทำแห้งที่ 90 °ซ กระดาษหลังเคลือบไม่สามารถต้านทานน้ำได้ เมื่อใช้อุณหภูมิทำแห้ง 100 และ 120 °ซ กระดาษสามารถต้านทานน้ำได้บางส่วน และที่อุณหภูมิทำแห้ง 140 และ 160 °ซ กระดาษสามารถต้านทานน้ำได้ดีภายในเวลา 1 ชั่วโมง

การขนส่งในห้องเย็น

ในการขนส่งสินค้าภายในประเทศหรือระหว่างประเทศ สินค้าบางชนิดต้องการสถานะที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อช่วยรักษาความสด ใหม่ หรือช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาให้กับผลิตภัณฑ์ได้ ลักษณะของการขนส่งภายใต้สถานะที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น การขนส่งโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ที่มีเครื่องทำความ

เย็น (reefer container) หรือการพอกสินค้าในห้องเย็น โดยทั่วไปแล้ว สภาพที่มีอุณหภูมิต่ำมักจะมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงด้วย ซึ่งมาตรฐาน ASTM D 4332-89 ได้กำหนดสภาวะทดสอบสำหรับสภาวะแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ± 5 และสำหรับสภาวะแช่แข็งไว้ที่ อุณหภูมิ $-18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ โดยไม่กำหนดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (ASTM, 2001) อย่างไรก็ตาม สภาวะสำหรับขนส่งสินค้าแช่เย็นและแช่แข็งอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสินค้าที่ใช้ขนส่งและสภาพอากาศของประเทศที่ใช้ขนส่งสินค้า เป็นต้น ตัวอย่างสภาวะแนะนำที่ใช้ในการขนส่งผักและผลไม้ของประเทศในเขตร้อนแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสภาวะแช่เย็นที่ใช้ขนส่งผักและผลไม้บางชนิด

Common name	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Relative humidity (%)
melon	13 - 15	90
atemoya	13	85 - 90
banana	13 - 15	90 - 95
breadfruit	13 - 15	85 - 90
cherimoya (custard apple)	13	90 - 95
coconut	0 - 2	80 - 85
cucumber	10 - 12	85 - 90
durian	4 - 6	85 - 90
eggplant	10 - 12	90 - 95
ginger	13	65
guava	5 - 10	90
grapefruit	14 - 15	85 - 90
jackfruit	13	85 - 90
lemon	10 - 13	85 - 90
lime	9 - 10	85 - 90
mango	13	85 - 90
mangosteen	13	85 - 90
papaya	7 - 13	85 - 90
pineapple	7 - 13	85 - 90

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Common name	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
potato	10 - 15	90 – 95
pumpkin	12 - 15	50 – 70
rambutan	12	90 – 95
sweetpotato	13 - 15	85 – 95
taro	7 - 10	85 – 90
tomato	10 - 13	90 – 95
watermelon	10 - 15	90

ที่มา: Cantwell (2001)

1. สินค้าที่ขนส่งในห้องเย็น

สินค้าส่วนใหญ่ที่ต้องการขนส่งในห้องเย็นหรือตู้คอนเทนเนอร์ที่มีเครื่องทำความเย็น มักจะเป็นสินค้าประเภทอาหาร ดังนี้

1.1 ผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารสด เช่น เนื้อหมู ไก่ ปลา ไข่กรอก หมูแฮม เป็นต้น

1.2 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนม (diary products) เช่น เนย เนยแข็ง ไอศกรีม นมสด เป็นต้น

1.3 ผักและผลไม้สด (vegetable and fresh fruits) รวมถึงผลไม้ตัดแต่ง (fresh cut)

1.4 อาหารทะเลและผลิตภัณฑ์สัตว์ปีก (sea food and poultry) เช่น เนื้อไก่สด อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ในประเภทนี้ อาจนิยมที่จะขนส่งในสภาวะแช่แข็งมากกว่า เนื่องจากต้องการความสดมากเป็นพิเศษ

2. ภาชนะบรรจุที่ใช้ขนส่งในห้องเย็น

ในปัจจุบันการขนส่งสินค้าในห้องเย็นนิยมใช้ลังพลาสติกหรือกล่องโฟม เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง และไม่เกิดความเสียหายจากสภาวะความชื้นสูงภายในห้องเย็นหรือตู้ทำความเย็น แต่

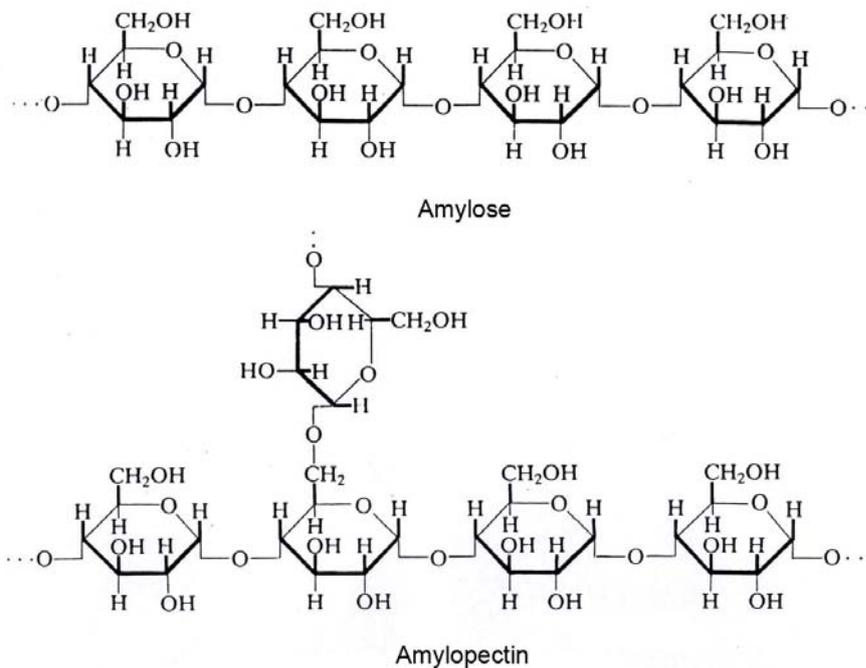
เนื่องจากลึงพลาสติกมีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องเสียค่าขนส่งเพิ่มขึ้น และลึงพลาสติกมีช่องเปิดมากทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับขนส่งผักและผลไม้ที่ยังมีการหายใจอยู่ การใช้กล่องโฟมทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเทศคู่ค้าบางประเทศไม่ยอมรับการใช้กล่องโฟม ทำให้ผู้ส่งออกบางรายจำเป็นต้องขนส่งกล่องเปล่ากลับมายังประเทศของตน เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

การใช้ภาชนะบรรจุกระดาษ เช่น กล่องลูกฟูก ในการขนส่งสินค้าภายในห้องเย็นนั้น เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง กระดาษลูกฟูกจะค่อยๆ ดูดซับความชื้นจากบรรยากาศภายในห้องเย็น ทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มสูงขึ้น เป็นสาเหตุทำให้กล่องลูกฟูกได้รับความเสียหาย มีความแข็งแรงลดลงและเกิดการยุบตัว ดังนั้นกล่องลูกฟูกที่จะนำมาใช้ในห้องเย็นจะต้องผ่านการเคลือบด้วยแว็กซ์หรือลามิเนตด้วยฟิล์มพลาสติก เพื่อป้องกันการดูดซับความชื้นจากภายนอก อย่างไรก็ตามการใช้กล่องลูกฟูกเคลือบแว็กซ์หรือลามิเนตด้วยฟิล์มพลาสติกนั้น ทำให้เกิดปัญหาด้านการกำจัดกล่องทิ้งหลังจากใช้งานแล้ว เนื่องจากกล่องลูกฟูกดังกล่าวไม่สามารถนำกลับมาแปรใช้ใหม่ได้เหมือนกล่องลูกฟูกทั่วไป

สตาร์ช

สตาร์ช (starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร มีการกำจัดสิ่งเจือปน ได้แก่ โปรตีน ไขมันและเกลือแร่อื่นๆ ออกไปจนเหลือแป้งที่บริสุทธิ์ (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) สตาร์ชเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) โดยมีการสูญเสียน้ำออกไป 1 โมเลกุล มีสูตรเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ดังภาพที่ 6 อะมิโลสมีลักษณะเป็นสายตรงของน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคส (น้ำตาลกลูโคสที่สูญเสียน้ำ) ประมาณ 200-2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-4 ไกลโคซิดิกเพียงอย่างเดียว ส่วนอะมิโลเพกทินมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ส่วนที่เป็นเส้นตรงประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคส 25-30 หน่วยเรียงต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-4 ไกลโคซิดิก จุดที่แยกเป็นกิ่งก้านจะต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-6 ไกลโคซิดิก อะมิโลเพกทินหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200,000 หน่วยขึ้นไป จึงมีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลสมาก (เอกพันธ์, 2538) สตาร์ชที่มาจากแหล่งต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกันทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Bruun, 2002)

ลักษณะของกลูโคสในโมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (primary hydroxyl group) เกาะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และกลุ่มไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (secondary hydroxyl group) เกาะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ดังนั้น โมเลกุลของสตาร์ชจึงมีหมู่ไฮดรอกซิลมากมาย ทำให้สตาร์ชมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) (พรพรรณ, 2543) การจัดเรียงตัวของเม็ดสตาร์ชที่อยู่ในรูปของร่างแหทำให้เม็ดสตาร์ชละลายในน้ำเย็นได้ยาก เมื่ออยู่ในน้ำเย็นเม็ดสตาร์ชจะดูดซับน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อสารละลายสตาร์ชถูกทำให้ร้อน พันธะไฮโดรเจนในบริเวณออสัณฐานจะอ่อนตัวลงทำให้เม็ดสตาร์ชแตกและพองตัวขึ้น ทำให้สารละลายสตาร์ชมีความหนืดและใสมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลลาคีโนเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) จะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลลาคีโนเซชันต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546)



ภาพที่ 6 องค์ประกอบหลักภายในสตาร์ช

ที่มา: Dziedzic and Kearsley (1995)

สำหรับอุตสาหกรรมกระดายนั่น มีการนำสตาร์ชมาใช้ในขั้นตอนต่างๆ (Maurer, 2001)

ดังนี้

1. ใช้ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ มีการนำสตาร์ชมาใช้เป็นสารเพิ่มการยึดจับ (retention aid) สารจับตะกอน (flocculating agent) ตัวพาสำหรับการเติมสารกันซึมภายใน (carrier for internal sizing) และเพื่อเพิ่มความแข็งแรงภายในของเยื่อ (internal strength)
2. ในกระบวนการฉาบด้วยสารกันซึมมีการนำสตาร์ชมาใช้เพื่อลดช่องว่างที่ผิวกระดาษ ใช้เพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ เพิ่มความคงตัว (dimensional stability) และเพิ่มความสามารถในการพิมพ์ด้วยระบบออฟเซต (offset printability)
3. ใช้เป็นตัวยึด (binder) สำหรับกระบวนการเคลือบผิว ซึ่งสตาร์ชมีส่วนสำคัญในการเพิ่มความเรียบและความมันเงาให้กระดาษที่นำไปใช้สำหรับงานพิมพ์
4. ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปกระดาษเป็นภาชนะบรรจุ สตาร์ชจะถูกนำมาใช้เป็นกาวสำหรับทำกล่องกระดาษ กล่องกระดาษลูกฟูก และการลามีเนตกับวัสดุอื่น

1. สตาร์ชดัดแปร (modified starch)

แป้งหรือสตาร์ชดิบ (native starch) โดยทั่วไปมีคุณสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดแคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเสียดทานในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ชอบไขมัน เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อความต้องการในการใช้งาน เช่น ในอุตสาหกรรมกระดาษ แป้งมันสำปะหลังดิบจะเหนียวเกินกว่าที่เครื่องเคลือบจะทำงานได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำสตาร์ชมาปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในรูปแบบของสตาร์ชดัดแปร (modified starch) โดยความหมายของคำว่าสตาร์ชดัดแปรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1073) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำสตาร์ช เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวสาลี มาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและ/หรือฟิสิกส์ด้วยความร้อนและ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์, 2535) คุณสมบัติของสตาร์ชดัดแปรที่ต้องการ เช่น ทำให้คงต่อสภาวะในการผลิตได้ดีขึ้น การเกิดเจลลาทีไนซ์ การคืนตัวและการสูญเสียน้ำของเจลลดลง ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีคุณสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำหรือความสามารถในการผสมกับตัวทำ

ละลายอื่นๆ เพิ่มขึ้น (BeMiller, 1997) ตัวอย่างของสตาร์ชตัดแปรที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ คือ

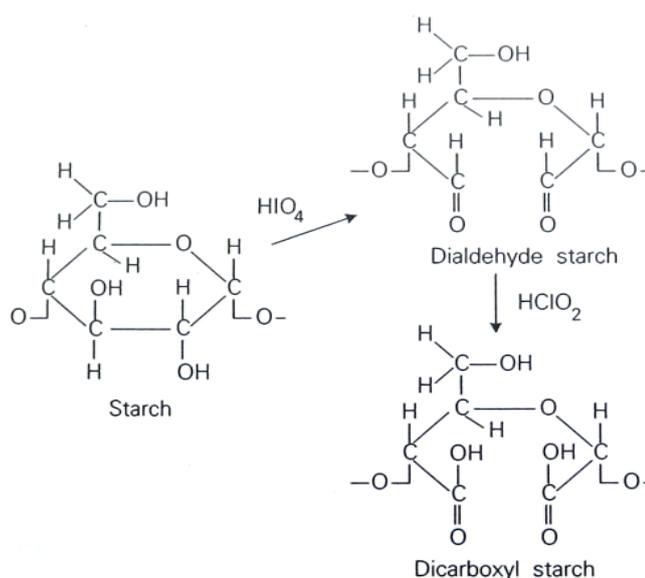
1.1 ออกซิไดซ์สตาร์ช

ออกซิไดซ์สตาร์ช หมายถึง สตาร์ชที่ถูกตัดแปรด้วยวิธีออกซิเดชัน โดยการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ คีโตนหรือหมู่คาร์บอกซิล ในการผลิตออกซิไดซ์สตาร์ชเชิงการค้านิยมใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารออกซิไดซ์เติมลงในสารละลายสตาร์ช (Srisoth *et al.*, 2002) เมื่อเติมแล้วโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสตาร์ชได้ออกซิไดซ์สตาร์ชและโซเดียมคลอไรท์ออกมา หลังตัดแปรแล้วคุณสมบัติของสตาร์ชจะเปลี่ยนแปลงไป คือ มีความหนืดลดลง ความร้อนที่ทำให้เกิดไฮเดรชันจะน้อยลง สูญเสียคุณสมบัติการเกิดเจลไปบางส่วน เป็นผงแห้งไม่เกาะติดกัน (เอกพันธ์, 2538)

กล้าณรงค์และเกื้อกุล (2546) กล่าวว่า เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างอะมิโลเพกทินของสตาร์ช จะพบว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่วนมากจะเกิดที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 โดยหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนที่ 2 และ/หรือ 3 จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่คาร์บอกซิล และเมื่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อพันธะระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 จะแตกออกได้ไดอัลดีไฮด์สตาร์ช (dialdehyde starch) จากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับไฮโปคลอไรท์ที่เป็นด่างจะทำให้พันธะระหว่างหมู่กลูโคไพราโนสแตกออก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วกับแป้งได้ไดคาร์บอกซิลสตาร์ช (dicarboxyl starch) ดังภาพที่ 7

คุณสมบัติที่สำคัญของออกซิไดซ์สตาร์ช คือ เป็นแป้งที่มีประจุลบ เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลเข้าไปอยู่ในโมเลกุลอะมิโลส เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มจะได้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แข็งและใส มีแนวโน้มในการหดตัวหรือแตกน้อยกว่าฟิล์มจากแป้งดิบ มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากเนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ ในอุตสาหกรรมกระดาษนิยมนำออกซิไดซ์สตาร์ชไปใช้เป็นสารยึดเกาะสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ เคลือบผิวหน้ากระดาษให้เรียบและฉาบผิวกระดาษเพื่อด้านทานการซึมของเหลว นอกจากนี้ยังใช้สำหรับเคลือบเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้เส้นด้ายลื่นและมีความยืดหยุ่น ใช้เป็นส่วน

ประกอบในอุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น ฝ้าผนัง ฉนวน กระเบื้อง เป็นต้น (Wurzburg, 1986) จากปริมาณการใช้กระดาษในเอเชียที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีการคาดการณ์ปริมาณการใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชว่าจะเพิ่มขึ้น 240,000 ตันต่อปี (Tupper, 1995)



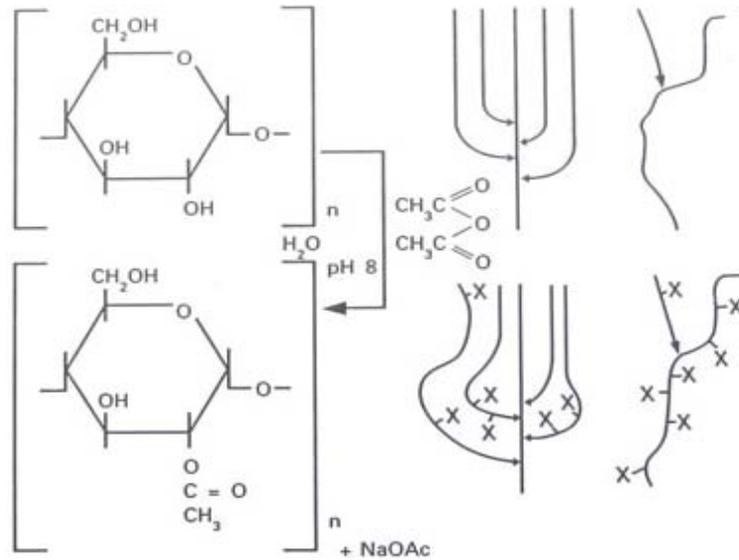
ภาพที่ 7 ปฏิกริยาการเกิดไดอัลดีไฮด์สตาร์ชและไดคาร์บอกซิลสตาร์ช
ที่มา: Knight (1969)

1.2 ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch)

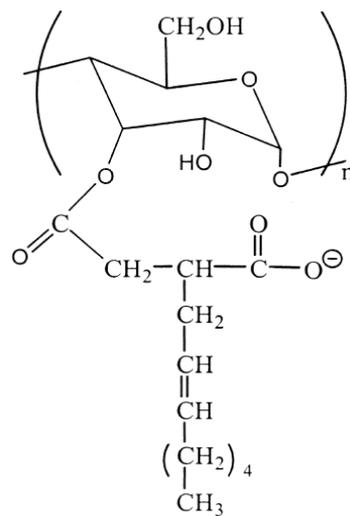
ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช หมายถึง สตาร์ชที่ถูกดัดแปรทางเคมีเพื่อให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ตัวอย่างของไฮโดรโฟบิกสตาร์ช คือ สตาร์ชที่ผลิตได้จากกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ด้วยสาร octenyl succinic anhydride (OSA) เป็นต้น การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ จะเกิดขึ้นที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ภายในโมเลกุลของกลูโคส (Nilsson and Bergenstahl, 2006) และเกิดขึ้นในบริเวณอสมฐานของสตาร์ช

การดัดแปรสตาร์ชด้วยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยโมเลกุลของ OSA นั้นทำให้ได้สตาร์ชที่เรียกว่า octenyl succinate starch (OSA starch) ข้อดีของการมีหมู่ octenyl succinate คือช่วยรักษาสมบัติชอบน้ำของสตาร์ชไว้ในขณะที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำให้กับสตาร์ช

(Viswanathan, 1999) ทำให้ OSA starch มีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ดีและยังมีคุณสมบัติในการเป็นฟิล์มที่ดีด้วย โครงสร้างโมเลกุลของ OSA starch แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในส่วนอสัณฐาน
ที่มา: Hosney and Lineback (1996)



ภาพที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของ OSA starch
ที่มา: Shogren *et al.* (2000)

1.3 สตาร์ชดัดแปรชนิดอื่นๆ

ตัวอย่างของสตาร์ชดัดแปรชนิดอื่นๆ ที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เช่น

ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช (hydroxyethyl starch) เป็นฟิล์มสตาร์ชที่มีความใส เรียบและยืดหยุ่นได้ดี จึงนิยมนำมาเคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความมันเงา เพิ่มความสามารถในการพิมพ์ให้แก่กระดาษ รวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อน้ำมัน

คาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (carboxymethyl starch) สามารถละลายในน้ำเย็นได้ มีความใสและเหนียว มีความหนืดสูง ละลายง่ายและไวต่อความชื้น นิยมใช้สำหรับพอกเยื่อหรือเป็นสารเคลือบกระดาษเพื่อการพิมพ์

แคทไอออนิกสตาร์ช (cationic starch) หรือแป้งประจุบวก เนื่องจากมีประจุบวกอยู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกกับประจุลบของเซลลูโลสที่ใช้ทำกระดาษได้ดี นิยมนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กระดาษ ใช้เคลือบกระดาษทำให้ทนต่อการขูดหรือถลอก ด้านทานการแทรกซึมของหมึกหรือของเหลวได้

สตาร์ชแอซีเตต (starch acetate) นิยมใช้ผลิตกระดาษกาวที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และใช้เคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพิมพ์

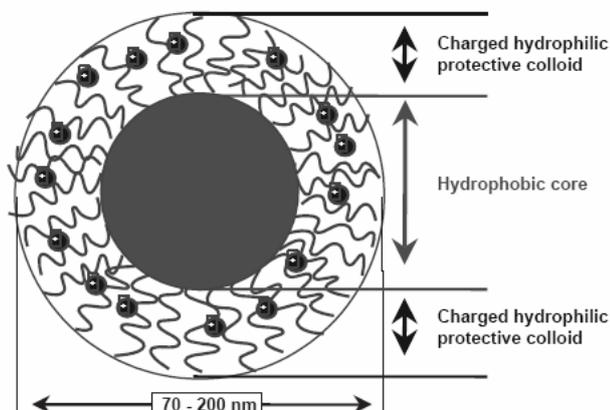
สตาร์ชฟอสเฟต โมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) เป็นแป้งที่มีคุณสมบัติของประจุลบ มีความหนืดสูงและใส เนื้อสัมผัสเหนียวและยืดเกาะได้ดี นิยมนำมาใช้เคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กระดาษ ใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะ (binder) ในองค์ประกอบของสารเคลือบได้

สไตรีน-อะคลิลิก อิมัลชัน

1. สไตรีน-อะคลิลิก อิมัลชันในการเป็นสารกันซึม

คุณลักษณะของสไตรีน-อะคริลิก อิมัลชัน (styrene-acrylic emulsion) ที่สำคัญที่ใช้แบ่งชนิดสารในทางการค้าได้แก่ ปริมาณของแข็ง (solid content) ความหนืดและค่าความเป็นกรด-ด่างของสาร ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในทางการค้าทั่วไปมักมีปริมาณของแข็งอยู่ร้อยละ 35 ถึง 65 (โดยน้ำหนัก) และมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 10 ถึง 1000 เซนติพอยท์ (Lesko and Sperry, 1997) สำหรับการเปรียบเทียบความหนืดของสารคนละตัวอย่างนั้น จะใช้หัวหมุนและอัตราเร็วในการหมุนที่เท่ากัน นอกจากนี้คุณลักษณะเฉพาะของสารที่ต้องการอีกชนิดหนึ่ง คือ ขนาดของอนุภาคและความคงตัวของคอลลอยด์ที่จะไม่แยกตัวเป็นชั้น เกิดการตกตะกอน เกาะตัวเป็นก้อนหรือเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่างการเก็บ ขนส่งหรือใช้งาน

อนุภาคของสารอิมัลชันประกอบไปด้วยส่วนของพอลิเมอร์ที่อยู่แกนกลาง (core) ไม่มีประจุและมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และส่วนที่หุ้มแกนกลาง (shell) จะเป็นส่วนที่มีประจุและมีสมบัติชอบน้ำ (ภาพที่ 10) มีอัตราส่วนระหว่างส่วนแกนกลางและส่วนที่หุ้มแกนกลางแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ บริเวณแกนกลางของอนุภาคอิมัลชันจะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของสารด้านการซึมน้ำ เช่น สมบัติความไม่ชอบน้ำ อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) ความหนืดของสารและความสามารถในการยึดติดของพอลิเมอร์ เป็นต้น ส่วนบริเวณที่หุ้มแกนกลางจะเป็นส่วนที่ทำให้การกระจายตัวของอนุภาคคงตัวอยู่ได้ในระหว่างการเก็บและต้านทานต่อแรงเค้นที่จะเกิดขึ้นมากในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยังแสดงบทบาทที่สำคัญในการเป็นตัวยึดเกาะระหว่างสารละลายสตาร์ชและอนุภาคของสารกันซึมอีกด้วย (Thümmes *et al.*, 2002)



ภาพที่ 10 โครงสร้างของอิมัลชันที่ใช้เป็นสารกันซึม
ที่มา: Thümmes *et al.* (2002)

นอกจากนี้ในกระบวนการฉาบผิวกระดาษ อนุภาคของพอลิเมอร์ที่อยู่ในบริเวณที่เชื่อมกันระหว่างฟิล์มสตาร์ชและผิวของเส้นใยจะช่วยยึดให้ฟิล์มสตาร์ชอยู่คงที่บนผิวเส้นใย อนุภาคของพอลิเมอร์ที่อยู่ด้านในจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกและชะลอการไหลของน้ำภายในชั้นของฟิล์มสตาร์ช ส่วนอนุภาคของพอลิเมอร์ที่อยู่บริเวณผิวจะช่วยลดคุณสมบัติการเปียกให้ผิวกระดาษ นอกจากนี้บริเวณที่หุ้มแกนกลางของอนุภาคอิมัลชันยังมีหน้าที่ช่วยให้อนุภาคของอิมัลชันเข้ากันได้ดีกับสารละลายสตาร์ช เพื่อป้องกันการแตกหรือการหลุดตัวของฟิล์มในระหว่างการทำแห้งกระดาษ

สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

เนื่องจากความแข็งแรงของกระดาษถูกกำหนดโดยความแข็งแรงของเส้นใยและความแข็งแรงของพันธะที่ยึดระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น ซึ่งพันธะที่ยึดเส้นใยแต่ละเส้นไว้ด้วยกันหรือพันธะไฮโดรเจนนั้นมีความไวต่อน้ำและถูกทำลายลงได้ด้วยโมเลกุลของน้ำ ในกระบวนการผลิตกระดาษจึงนิยมเติมสารเติมแต่งตัวหนึ่ง คือ สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (wet strength resin) โดยสารนี้จะไปช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงในขณะเปียก (wet tensile strength) ให้กับกระดาษ โดยทั่วไปกระดาษที่ยังคงรักษาความแข็งแรงในขณะเปียกไว้ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 ของค่าความแข็งแรงขณะแห้งจะเรียกกระดาษชนิดนี้ว่า wet strength paper (Stannett, 1967) ผลิตภัณฑ์กระดาษที่ต้องการสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก เช่น กระดาษชำระ กระดาษอนามัย กระดาษทำผิวกล่อง ภาชนะบรรจุกระดาษสำหรับผลิตภัณฑ์ของเหลว ถุงกระดาษ และกระดาษกรอง เป็นต้น

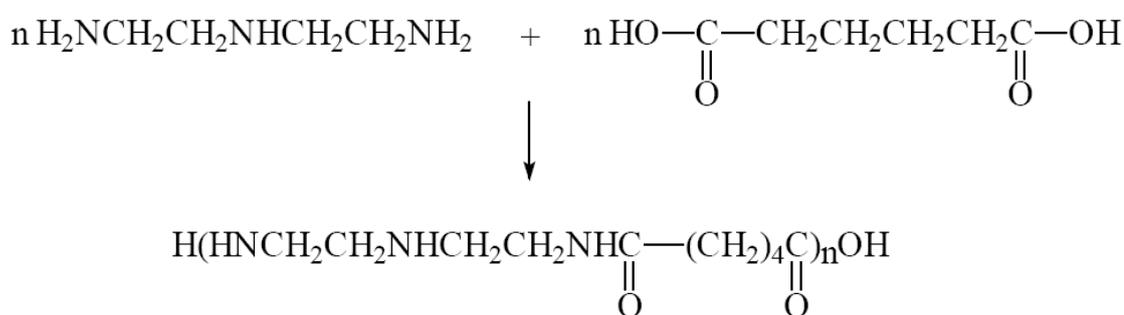
1. ชนิดของสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกชนิดแรกที่ใช้งานในทางการค้า คือ ยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์ (urea-formaldehyde) และเมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (melamine-formaldehyde) สารทั้งสองชนิดนี้มีการใช้งานได้ดีสำหรับกระดาษที่มีการผลิตภายใต้สภาวะกรด (Chan and Lau, 1994) ภายหลังมีปัญหาเกี่ยวข้องกับทางด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับสารฟอรัมาลดีไฮด์ที่หลงเหลืออยู่ ทำให้การใช้ยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์และเมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ลดน้อยลงไป

ในปัจจุบันแนวโน้มของอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษได้มุ่งเน้นไปที่การผลิตกระดาษภายใต้สภาวะที่เป็นต่างมากขึ้น สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกชนิดต่อมาที่มีการผลิตขึ้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ใช้งานได้ดีกับกระดาษที่มีการผลิตภายใต้สภาวะต่าง ตัวอย่างของสารชนิดนี้คือ สารในกลุ่มของพอลิเอไมด์ อีพิกลอโรไฮดริน (polyamide-epichlorohydrin, PAE) หรือพอลิอะมิโนเอไมด์ อีพิกลอโรไฮดริน (polyamidoamine epichlorohydrin) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกับการผลิตกระดาษในสภาวะที่เป็นต่างหรือเป็นกลาง และใช้ได้ดีกับกระดาษเกือบทุกประเภท (Liu, 2004)

2. พอลิเอไมด์ อีพิกลอโรไฮดริน (polyamide-epichlorohydrin, PAE)

การผลิตพอลิเอไมด์ อีพิกลอโรไฮดรินประกอบได้ด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่อยู่ในโมเลกุลประกอบไปด้วยหมู่เอมีนหลายหมู่ (polyfunctional amine) กับสารที่อยู่ในโมเลกุลประกอบด้วยกรด 2 หมู่ (difunctional acid) ตัวอย่างของ polyfunctional amine เช่น ไดเอทิลีน ไตรเอมีน (diethylene triamine, DETA) และตัวอย่างของ difunctional acid เช่น กรดอะดิพิก (adipic acid) (Keim, 1960) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารทั้ง 2 ตัวนี้ทำให้ได้เป็นพอลิเอมิโนเอไมด์ (polyaminoamide) ขึ้นมา ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไดเอทิลีน ไตรเอมีนและกรดอะดิพิก
ที่มา: Biddle and Packer (n.d.)

จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 เมื่อเติมอีพิกลอโรไฮดริน (ภาพที่ 12) เข้าไป อีพิกลอโรไฮดรินจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารพอลิเอมิโนเอไมด์ ในบริเวณหมู่เอมีนที่ว่างอยู่ เกิดเป็นสารประกอบอะมิโนคลอโรไฮดริน (ภาพที่ 13) จากนั้นอะมิโนคลอโรไฮดรินยังสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อภายในสายพอลิเมอร์เส้นเดียวกันได้เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะวงแหวน (cyclic structure) และเรียกว่า 3-hydroxyl-

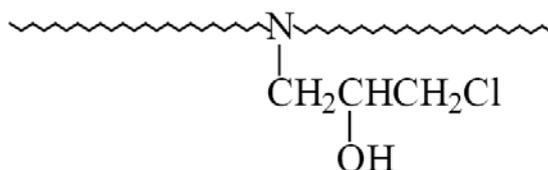
azetidinium salts (Ross *et al.*, 1964) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ประกอบไปด้วยพอลิเอมาซด์เป็นโครงสร้างหลัก สำหรับหมู่ azetidinium ซึ่งมีประจุบวกสูงนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ 2 แบบ คือ เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนที่เหลือเพื่อสร้างโครงสร้างร่างแหที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเป็นการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลให้กับสารได้ (ภาพที่ 14) โครงสร้างแบบร่างแหนี้สามารถเกิดได้ทั้งภายในเซลล์โลสและเกิดล้อมรอบพันธะระหว่างเซลล์โลสกับเซลล์โลสได้ (Devore and Fischer, 1993)

นอกจากนั้นสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกยังสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลบนผิวของเส้นใย ดังภาพที่ 15 เนื่องจากในโมเลกุลของสารซึ่งมีหมู่เอมีนที่มีประจุบวกนั้น จะไปสร้างพันธะไอออนิก (ionic bond) กับเส้นใยซึ่งมีประจุลบ ทำให้กระดาษมีความแข็งแรงขึ้นถึงแม้จะเปียกน้ำ นอกจากนี้ยังเสริมความแข็งแรงให้กับพันธะระหว่างเส้นใยกับเส้นใยด้วยทำให้กระดาษที่มีการเติมสารตัวนี้มีมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น



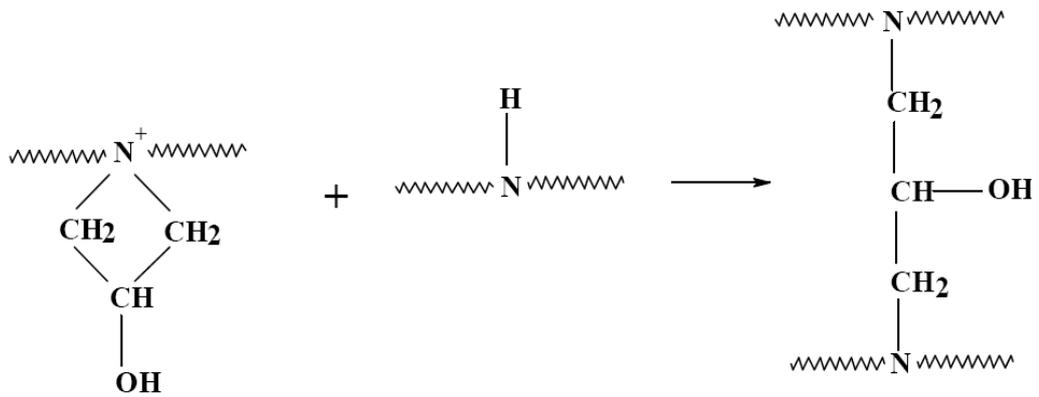
ภาพที่ 12 อีพิคลอโรไฮดริน

ที่มา: Biddle and Packer (n.d.)

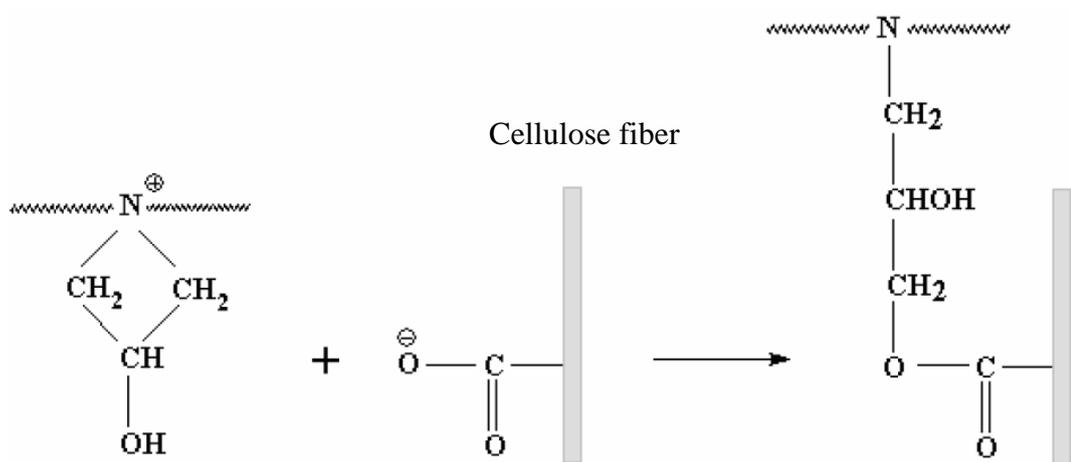


ภาพที่ 13 อะมิโน คลอโรไฮดริน

ที่มา: Biddle and Packer (n.d.)



ภาพที่ 14 การทำปฏิกิริยาระหว่าง azetidinium และหมู่เอมีน
ที่มา: Liu (2004)



ภาพที่ 15 การทำปฏิกิริยาระหว่าง azetidinium และหมู่คาร์บอกซิลบนผิวเส้นใย
ที่มา: Liu (2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

1.1 กระดาษกราฟท์เกรด KI น้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร ประกอบด้วยเยื่อใหม่ร้อยละ 30 และเยื่อหมุนเวียนร้อยละ 70 (บริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม)

1.2 สตาร์ชตัดแปรทางการค้า

1.2.1 ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch, Fibersize 382™)

1.2.2 ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch, Filmkote 370™)

1.3 สารก้นขี้ม ชนิดสไตรีนอะคริลิกอิมัลชัน (styrene-acrylic emulsion, SAE) มีปริมาณของแข็งร้อยละ 25 แตกต่างกัน 3 ประเภท (รายละเอียดสารก้นขี้มแต่ละชนิดแสดงดังภาคผนวก ก)

1.3.1 Baysize® BMP

1.3.2 Baysize® AGP

1.3.3 Cartacol® XPM

1.4 สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (wet strength resin) ชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นพอลิเอมายด์ อีพิกลอโรไฮดริน (polyamide-epichlorohydrin) มีปริมาณของแข็งร้อยละ 12.5 ค่ากรด-ด่าง 4.6-4.9 (Kymene® 557H)

1.5 สารละลายเกลืออิมตัว 7 ชนิด ได้แก่ ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl₂) แมกนีเซียมไนเตรด (Mg(NO₃)₂) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และโพแทสเซียมไนเตรด (KNO₃)

2. อุปกรณ์

- 2.1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
- 2.2 เครื่องชั่งละเอียดชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius BP110S, Germany)
- 2.3 เครื่องชั่งละเอียดชนิดทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Shimadzu BX300, Japan)
- 2.4 Hotplate stirrer (Stuart Scientific, UK)
- 2.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Mettler, Germany)
- 2.6 เครื่องเคลือบกระดาษ (Film coater PI-1210, Japan)
- 2.7 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (WTB Binder KBF 240, Germany)
- 2.8 ห้องเย็น
- 2.9 ตู้อบลมร้อนแบบควบคุมอุณหภูมิ (Contherm, Contherm Scientific Limited)
- 2.10 เดซิเกตเตอร์
- 2.11 เครื่องวัดค่าความหนืด (Brookfield Viscometers DV II+, USA)
- 2.12 เครื่องวัดค่ากรด-ด่าง (pH meter HI 8424, Hanna Instruments)
- 2.13 เครื่องวัดความหนา (Mitutoyo ID-C112BS, Japan)
- 2.14 ชุดทดสอบการดูดซึมน้ำ (Cobb test)
- 2.15 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Mullen, USA)
- 2.16 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน (Testometric Micro 350, England)
- 2.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM-5600LV, Japan)

วิธีการ

1. ตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดิบ

- 1.1 ตรวจสอบสมบัติของสตาร์ชตัดแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้น (รายละเอียดของวิธีการตรวจสอบแสดงดังภาคผนวก ข)
- 1.2 ตรวจสอบสมบัติของกระดาษกราฟท์ (รายละเอียดของวิธีการตรวจสอบแต่ละชนิดแสดงดังภาคผนวก ข)

- 1.2.1 ปรับสภาวะกระดาษ (ISO 187)
- 1.2.2 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน (ASTM D646-96)
- 1.2.3 การทดสอบความหนา (ASTM D645-97)
- 1.2.4 การทดสอบปริมาณความชื้น (ASTM D644-99)
- 1.2.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (ASTM D3285-93)
- 1.2.6 การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (ASTM D774-97)
- 1.2.7 การทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน (TAPPI T818-om97)

2. ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชและปริมาณสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟท์

2.1 วิธีการเคลือบกระดาษกราฟท์

2.1.1 การเตรียมสารเคลือบ

เตรียมสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 และร้อยละ 15 (โดยน้ำหนักแห้งของออกซิไดซ์สตาร์ชต่อน้ำหนักน้ำกลั่น) ให้ความร้อนและกวนอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 90 ± 5 °ซ จนกระทั่งสารละลายมีลักษณะใส จากนั้นลดอุณหภูมิของสารละลายสตาร์ชให้เหลือ 65 ± 5 °ซ โดยทิ้งไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

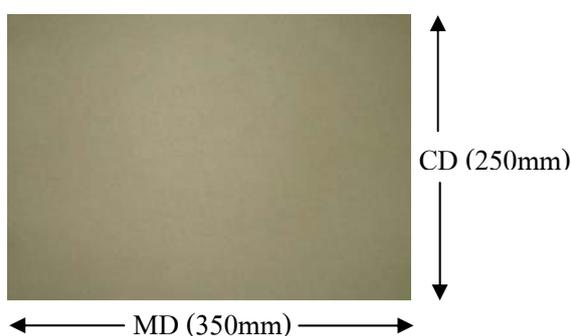
เติมสารกันซึมปริมาณร้อยละ 4 ร้อยละ 8 และร้อยละ 12 (โดยน้ำหนักสารกันซึมต่อน้ำหนักสารละลายสตาร์ช) ลงในสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากันด้วย Hotplate stirrer เป็นเวลา 5 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 65 ± 5 °ซ จากนั้นนำสารเคลือบที่ได้ไปควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 65 ± 5 °ซ เป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อให้สารเคลือบมีอุณหภูมิคงที่ก่อนการเคลือบกระดาษ

2.1.2 การวัดความหนืดและค่ากรด-ด่างของสารเคลือบ

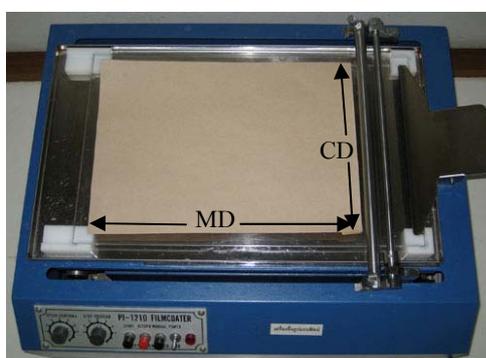
นำสารเคลือบที่เตรียมโดยวิธีในข้อ 2.1.1 วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometers ใช้หัววัดหมายเลข 21 ความเร็ว 100 รอบ/นาที และวัดค่ากรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter

2.1.3 การเคลือบกระดาษกราฟ

ตัดกระดาษกราฟที่ขนาด 250 x 350 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 16 นำมาเคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ด้วยเครื่อง Film coater รุ่น PI 1210 วิธีการเคลือบจะทำโดยวางกระดาษกราฟไว้บนเครื่องเคลือบ ให้ผิวกระดาษด้านสักหลาด (felt side) อยู่ด้านบนบนซีดรัมกระดาษด้วยเทปใสเพื่อป้องกันกระดาษเคลื่อนที่ในระหว่างการเคลือบ (ภาพที่ 17) จากนั้นเทสารเคลือบปริมาณ 4 กรัมลงบนกระดาษตลอดแนวหน้ากว้างกระดาษ (แนว CD) เมื่อเครื่องเคลือบเริ่มทำงาน แท่งเหล็กของเครื่องจะพาสารเคลือบไปบนกระดาษตามแนวความยาวของกระดาษ (แนว MD) เคลือบด้วยอัตราเร็ว 2.1 เมตร/นาที จากนั้นนำกระดาษที่เคลือบแล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องโดยใช้น้ำหนักกดทับที่มุมทั้งสี่ไว้เพื่อป้องกันกระดาษม้วนงอ ตัดขอบกระดาษออกด้านละ 15 มิลลิเมตร ในการควบคุมความสม่ำเสมอของการเคลือบทำโดย สุ่มตัวอย่างกระดาษกราฟที่ทุก 10 แผ่น เพื่อนำมาทดสอบความหนาในตำแหน่งต่างๆ จากนั้นจึงนำไปทดสอบในลำดับต่อไป



ภาพที่ 16 ตัวอย่างกระดาษกราฟ



ภาพที่ 17 การวางกระดาษกราฟบนเครื่องเคลือบ

2.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบ

นำกระดาษที่เตรียมจากข้อ 2.1.3 ตัดตามขนาดที่ต้องการตามวิธีการทดสอบแต่ละชนิด ปรับสถานะกระดาษในตู้ควบคุมสถานะที่อุณหภูมิ $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 (ISO 184) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษเคลือบเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (รายละเอียดของวิธีการตรวจสอบแต่ละชนิดแสดงดังภาคผนวก ข)

2.2.1 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน (ASTM D646-96)

2.2.2 การทดสอบทดสอบความหนา (ASTM D645-97)

2.2.3 การทดสอบปริมาณความชื้น (ASTM D644-99)

2.2.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (ASTM D3285-93)

2.2.5 การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (ASTM D774-97)

2.2.6 การทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน (TAPPI T818-om97)

2.3 ศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

นำตัวอย่างกระดาษกราฟที่เตรียมจากข้อ 2.1.3 มาเก็บไว้ในตู้ควบคุมสถานะที่อุณหภูมิ $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดตัวอย่างขนาด 5×5 มิลลิเมตร นำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากตัวอย่าง จากนั้นนำไปตรวจลักษณะผิวหน้าและภาพตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM-5600LV, Japan) ด้วยกำลังขยาย 300 และ 450 เท่าตามลำดับ

2.4 แผนการทดลอง

ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายสตาร์ชและความเข้มข้นของสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟที่ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) และจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2×3 มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช 2 ระดับ คือ ร้อยละ 8 และร้อยละ 15 (โดยน้ำหนัก) และปริมาณของสารกันซึม 3 ระดับ คือร้อยละ 4 ร้อยละ 8 และร้อยละ 12 (โดยน้ำหนักของ

สารละลายสตาร์ช) ผลการทดลองจะพิจารณาแยกตามชนิดของสารกันซึมซึ่งได้แก่ Baysize® BMP Baysize® AGP และ Cartacol® XPM ตามลำดับ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้จากวิธีการในขั้นนี้จะใช้เพื่อพิจารณาเลือกระดับความเข้มข้นของสตาร์ชตัดแปรและปริมาณของสารกันซึมที่เหมาะสมที่จะสามารถปรับปรุงความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านและความแข็งแรงเชิงกลให้กระดาษกราฟได้

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชและปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสารกันซึมแต่ละชนิดแล้ว จะนำทริตเมนต์ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับผลทางสถิติได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติด้านความแข็งแรงเชิงกล เพื่อพิจารณาเลือกชนิดของสารกันซึมสำหรับการศึกษาในหัวข้อถัดไป

3. ศึกษาอิทธิพลของการใช้สารละลายสตาร์ชตัดแปรต่างชนิดร่วมกับสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟ

3.1 วิธีการเคลือบกระดาษกราฟ

วิธีการเตรียมสารเคลือบที่ประกอบไปด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช สารละลายไฮโดรฟอบิกสตาร์ช สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมและสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึมตามวิธีในข้อ 2.1.1 - 2.1.2 วิธีการเคลือบกระดาษตามวิธีในข้อ 2.1.3

3.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบ

ทดสอบสมบัติของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบตามวิธีในข้อ 2.2

3.3 ศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ทดสอบลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่ตามวิธีในข้อ 2.3

3.4 แผนการทดลอง

ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารละลายสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟท์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) และจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2x2 มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารละลายสตาร์ชตัดแปร 2 ชนิด คือ ออกซิไดซ์สตาร์ชและไฮโดรโฟบิกสตาร์ช และลักษณะการเติมสารกันซึม 2 แบบคือ เติมสารกันซึมและไม่เติมสารกันซึม โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชตัดแปรทั้งสองชนิดรวมถึงปริมาณและชนิดของสารกันซึมจะเลือกโดยพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้ตามวิธีการทดลองในข้อ 2 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง

4. ศึกษาอิทธิพลของการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกในสารเคลือบที่ประกอบด้วยสตาร์ชตัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟท์

4.1 วิธีการเคลือบกระดาษกราฟท์

4.1.1 การเตรียมสารเคลือบ

เตรียมสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมและไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึมตามวิธีในข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 จากนั้นเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกปริมาณร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักสารละลายสตาร์ช) ลงไปในสารเคลือบที่มีองค์ประกอบเป็นสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมหรือสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชและสารกันซึม คนให้เข้ากันด้วย Hotplate stirrer เป็นเวลา 5 นาที นำสารเคลือบที่ได้ไปควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ $65 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 5 นาที

4.1.2 การเคลือบกระดาษกราฟท์

เคลือบกระดาษกราฟท์ตามวิธีในข้อ 2.1.3

4.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบ

ทดสอบสมบัติของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบตามวิธีในข้อ 2.2

4.3 ศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ทดสอบลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่ตามวิธีในข้อ 2.3

4.4 แผนการทดลอง

การศึกษاثิพผลของสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก โดยการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในองค์ประกอบของสารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ สารเคลือบที่ประกอบไปด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึมและสารเคลือบที่ประกอบไปด้วยสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

5. ศึกษาธิพผลของระยะเวลาการเก็บกระดาษเคลือบในห้องเย็นที่มีต่อสมบัติด้านความแข็งแรง

นำกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบ 6 ทริตเมนต์ ได้แก่ เคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึม สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึมและสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม และสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึมและสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (ระดับความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ ปริมาณและชนิดของสารกันซึมจะพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้ตามวิธีการทดลองในข้อ 2) เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็นที่สภาวะอุณหภูมิ 13 ± 1 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88 ± 2 (Cantwell, 2001) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นระยะเวลาโดยประมาณที่กล่องลูกฟูกจะถูกขนส่งและจัดเก็บอยู่ในห้องเย็น ทำการสุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์เพื่อมาทดสอบความชื้นตามข้อ 2.2.3 ทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุตามข้อ 2.2.5 และทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวนตามข้อ 2.2.6 เปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการ

เคลือบ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ทำการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ

6. ศึกษาลักษณะการดูดคายความชื้น (moisture sorption isotherm) ของกระดาษคราฟท์

การศึกษาลักษณะของการดูดและคายความชื้นของกระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบและที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันชื้นและไฮโดรฟอบิกสตาร์ร่วมกับสารกันชื้น โดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ช ปริมาณของสารกันชื้น และชนิดของสารกันชื้นที่ได้จากวิธีการทดลองในข้อ 2 โดยมีวิธีการดังนี้

เตรียมสารละลายเกลืออิมิตัวที่ทำให้เกิดความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ใส่ลงในขวดแก้วปิดสนิท โดยใช้ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน 7 สถานะ ได้แก่ LiCl (11.3%) $MgCl_2$ (32.4%) $Mg(NO_3)_2$ (51.4%) KI (67.9%) NaCl (75.1%) KCl (83.6%) และ KNO_3 (92.3%) สถานะละ 12 ขวด โดยจะแบ่งสำหรับการศึกษาลักษณะการดูดความชื้น 6 ขวดและลักษณะการคายความชื้น 6 ขวด ทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์เพื่อให้บรรยากาศภายในขวดแก้วมีความชื้นสัมพัทธ์คงที่

ในการศึกษาลักษณะการดูดความชื้นของกระดาษ ก่อนทดสอบจะนำตัวอย่างกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบและไม่เคลือบไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ $105 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นในกระดาษเริ่มต้นมีค่าต่ำที่สุด จากนั้นนำกระดาษน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ใส่ไว้ในขวดแก้วที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวที่เตรียมไว้ โดยกระดาษแต่ละทริตเมนต์จะแบ่งใส่ขวดแก้วสถานะละ 2 ขวด สำหรับทดสอบปริมาณความชื้นและค่า a_w หลังจากแบ่งกระดาษใส่ในขวดแล้ว ให้ปิดฝาขวดแก้วให้สนิททันที ทิ้งไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นเวลาอย่างน้อย 30 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณความชื้นในกระดาษตัวอย่างเข้าสู่สมดุลกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ในขวดแก้ว จากนั้นนำตัวอย่างออกจากขวดแก้วเพื่อไปวัดค่าปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ (a_w) อย่างละ 2 ซ้ำ

ส่วนการศึกษาลักษณะการคายความชื้นของกระดาษ ก่อนทดสอบจะนำตัวอย่างกระดาษทั้งหมดเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของกระดาษมีค่าสูงที่สุด จากนั้นทำเช่นเดียวกับการศึกษาลักษณะการดูดความชื้นของกระดาษ นำค่า

ปริมาณความชื้น ณ สมดุลของกระดาษและค่า a_w ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่างกระดาษและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ($a_w \times 100$)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการทดสอบความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 10

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ

ปริมาณความชื้นของสตาโรซ์ตัดแปร ได้แก่ ออกซิไดซ์สตาโรซ์และไฮโดรโฟบิกสตาโรซ์ จะใช้เพื่อนำไปคำนวณปริมาณของสตาโรซ์ในการเตรียมสารละลายสตาโรซ์ตัดแปร พบว่าออกซิไดซ์สตาโรซ์มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 14.93 และไฮโดรโฟบิกสตาโรซ์มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 14.00

กระดาษกราฟที่เลือกใช้เป็นกระดาษกราฟที่มีส่วนผสมของเยื่อใหม่ร้อยละ 30 และเยื่อหมุนเวียนร้อยละ 70 ไม่มีการฉาบผิวด้วยสารกันซึม มีค่าน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของกระดาษกราฟที่เพื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่หลังเคลือบ ผลการตรวจสอบค่าสมบัติพื้นฐาน สมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติเชิงกลของกระดาษกราฟที่ก่อนเคลือบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติของกระดาษกราฟที่เกรด KI 125

สมบัติ	ค่าทดสอบ
น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตร.ม.)	125.0 ± 1.0
ความหนา (มม.)	0.174 ± 0.008
ความชื้น (ร้อยละ)	8.56 ± 0.30
การดูดซึมน้ำด้านสกัดหลุด (กรัม/ตร.ม.)	39.0 ± 1.0
การดูดซึมน้ำด้านตะแกรง (กรัม/ตร.ม.)	34.5 ± 3.1
ความต้านทานแรงฉีกทะลุ (กิโลกรัม/ตร.ซม.)	4.24 ± 0.06
ความต้านทานแรงกดวงแหวนแนว MD (กิโลนิวตัน/เมตร)	1.03 ± 0.07
ความต้านทานแรงกดวงแหวนแนว CD (กิโลนิวตัน/เมตร)	0.76 ± 0.1

2. ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชและปริมาณสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษคราฟท์

2.1 สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบ

สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบที่ผสมระหว่างสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึม ได้แก่ ความหนืดและค่ากรด-ด่าง ค่าความหนืดของสารเคลือบที่ได้จากการผสมกันระหว่างสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชมีอิทธิพลต่อค่าความหนืดของสารเคลือบ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 15 จะทำให้ค่าความหนืดของสารเคลือบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้การซึมของสารเข้าสู่โครงสร้างในเนื้อกระดาษยากขึ้น และทำให้มีปริมาณสารหลงเหลืออยู่ที่ผิวกระดาษเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของสารกันซึมนั้น ไม่มีผลต่อความหนืดของสารเคลือบ

ตารางที่ 4 ความหนืดของสารเคลือบที่ประกอบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมชนิดต่างๆ

ความเข้มข้น ออกซิไดซ์สตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณ สารกันซึม (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติพอยด์)		
		Baysize [®] BMP	Baysize [®] AGP	Cartacol [®] XPM
8	4	12.0 ± 0.1 ^a	12.0 ± 0.3 ^a	12.0 ± 0.3 ^a
8	8	12.0 ± 0.4 ^a	12.0 ± 0.2 ^a	12.0 ± 0.3 ^a
8	12	12.0 ± 0.4 ^a	12.0 ± 0.3 ^a	12.0 ± 0.2 ^a
15	4	32.0 ± 0.3 ^b	32.0 ± 0.1 ^b	32.0 ± 0.3 ^b
15	8	32.0 ± 0.5 ^b	32.0 ± 0.3 ^b	32.0 ± 0.4 ^b
15	12	32.0 ± 0.4 ^b	32.0 ± 0.3 ^b	32.0 ± 0.1 ^b

^{ab} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่ากรด-ด่าง (ตารางที่ 5) พบว่า ทั้งความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณสารกันซึมแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อความเป็นกรด-ด่างของสารเคลือบ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ

ของสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP และ Baysize[®] AGP มีผลทำให้สารเคลือบมีค่ากรด-ด่างลดลง หรือสารเคลือบมีความเป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากทั้งสารกันซึม Baysize[®] BMP และ Baysize[®] AGP เป็นสารกันซึมที่มีสมบัติเป็นกรด ส่วนการเพิ่มปริมาณของสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีผลทำให้สารเคลือบมีค่ากรด-ด่างเพิ่มขึ้นหรือมีความเป็นด่างมากขึ้น เนื่องจากสารกันซึมชนิด Cartacol[®] XPM เป็นสารที่มีสมบัติเป็นด่าง ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ช พบว่า มีผลทำให้ค่ากรด-ด่างของสารเคลือบมีค่าเข้าใกล้ 7 มากขึ้น

ตารางที่ 5 ค่ากรด-ด่างของสารเคลือบที่ประกอบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึมชนิดต่างๆ

ความเข้มข้น ออกซิไดซ์สตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณ สารกันซึม (ร้อยละ)	ค่ากรด-ด่าง		
		Baysize [®] BMP	Baysize [®] AGP	Cartacol [®] XPM
8	4	4.76 ± 0.11 ^c	5.47 ± 0.10 ^d	9.58 ± 0.08 ^c
8	8	4.41 ± 0.10 ^d	5.36 ± 0.06 ^c	9.67 ± 0.11 ^b
8	12	4.28 ± 0.08 ^c	5.23 ± 0.11 ^f	9.76 ± 0.10 ^a
15	4	5.69 ± 0.14 ^a	6.34 ± 0.12 ^a	9.38 ± 0.11 ^d
15	8	5.09 ± 0.13 ^b	6.10 ± 0.09 ^b	9.57 ± 0.05 ^c
15	12	4.79 ± 0.11 ^c	5.83 ± 0.09 ^c	9.65 ± 0.08 ^b

^{abcde} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.2 สมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม

2.2.1 น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาและปริมาณความชื้น

น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาและปริมาณความชื้นของกระดาษกราฟที่ที่ไม่ผ่านการเคลือบและหลังเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาที่ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษกราฟที่เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆแล้ว พบว่า ความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชมีอิทธิพลต่อน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษกราฟที่อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์

สตาร์ชจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 15 จะทำให้กระดาษเคลือบมีน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนปริมาณของสารกันซึมชนิด Baysize® BMP Baysize® AGP หรือ Cartacol® XPM นั้นไม่มีอิทธิพล เนื่องจากในองค์ประกอบของสารเคลือบมีปริมาณออกซิไดซ์สตาร์ชมากกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่ปริมาณของสารกันซึมมีเพียงเล็กน้อย (Thümmes *et al.*, 2002) ดังนั้น ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบที่เพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นผลมาจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชเป็นหลัก

สำหรับค่าความหนาของกระดาษกราฟท์ที่ผ่านการเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ พบว่า ทั้งความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณของสารกันซึม Baysize® BMP Baysize® AGP หรือ Cartacol® XPM ไม่มีอิทธิพลต่อความหนาที่เพิ่มขึ้น โดยกระดาษกราฟท์หลังเคลือบจะมีความหนาเพิ่มขึ้น 0.006 มิลลิเมตรหรือประมาณร้อยละ 3 ที่ทุกสถานะของการเคลือบ นอกจากนี้ การเคลือบกระดาษจะช่วยให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น สังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบที่น้อยกว่ากระดาษกราฟท์ไม่ได้เคลือบประมาณ 2-3 เท่า ผลนี้มาจากการที่รูพรุนที่ผิวและภายในโครงสร้างของกระดาษถูกเติมเต็มไปด้วยสารเคลือบ ทำให้ผิวกระดาษเรียบมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Rhim *et al.* (2006) ที่พบว่า หลังการเคลือบกระดาษด้วยไบโอพอลิเมอร์แล้วจะทำให้ความสม่ำเสมอของผิวหน้ากระดาษดียิ่งขึ้น กระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนามีค่าลดลง 3 เท่า

ปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟท์เป็นสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่ง การเพิ่มขึ้นของความชื้นในกระดาษกราฟท์อาจส่งผลต่อค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและทำให้กระดาษมีความแข็งแรงเชิงกลลดลง แต่กระดาษที่มีปริมาณความชื้นน้อยเกินไป ก็ส่งผลให้กระดาษแห้งกรอบและสามารถดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้อย่างรวดเร็วด้วย จากผลการศึกษาค่าปริมาณความชื้นของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ จะเห็นว่า ทั้งความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณของสารกันซึม Baysize® BMP มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นในกระดาษ คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชจะทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณสารกันซึม Baysize® BMP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 จะทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Baysize® BMP จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 จะทำให้ปริมาณความชื้นลดลง สำหรับการใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP และ Cartacol® XPM จะพบผลในทำนองเดียว

กันคือ มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นกับ กระดาษกราฟที่ก่อนเคลือบแล้วจะเห็นว่าปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่หลังเคลือบทุกสภาวะ มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 3 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานของ กระดาษกราฟที่สำหรับผลิตกล่องลูกฟูกกำหนดไว้ คือ ให้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6 ถึง 9 ดังนั้น ความชื้นของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบที่ได้จากการทดลองนี้จึงถือว่ายังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นกล่องลูกฟูกได้

2.2.2 น้ำหนักสารเคลือบในกระดาษกราฟที่หลังเคลือบ

น้ำหนักสารเคลือบในกระดาษกราฟที่หลังเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับ สารกันซึมชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7 น้ำหนักของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถคำนวณได้จาก ความแตกต่างของน้ำหนักแห้งของกระดาษกราฟที่ตัวอย่างก่อนและหลังการเคลือบ โดยน้ำหนักที่ เพิ่มขึ้นมานี้จะเป็นผลรวมของออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึม พบว่าความเข้มข้นของออกซิไดซ์ สตาร์ชมีอิทธิพลต่อน้ำหนักสารเคลือบในกระดาษกราฟอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่ม ความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 15 จะมีผลทำให้น้ำหนักสารเคลือบใน กระดาษเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของสารกันซึมนั้นไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักสารเคลือบ ซึ่งน้ำหนักสาร เคลือบในกระดาษที่เพิ่มขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากการเพิ่มปริมาณของแข็งของออกซิไดซ์สตาร์ชในองค์ ประกอบของสารเคลือบ ทั้งนี้สารเคลือบนั้นมีทั้งส่วนที่อยู่ได้บนผิวหน้ากระดาษและแทรกซึมเข้าไป ในเนื้อกระดาษ ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งในสารเคลือบและความหนืดของสารเคลือบ (Gällstedt *et al.*, 2005)

การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช เป็นการเพิ่มปริมาณ ของแข็งในองค์ประกอบของสารเคลือบ จึงทำให้มีเนื้อของสารเคลือบบนกระดาษกราฟมากขึ้น หลังจากทำให้แห้งแล้ว เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชอยู่ที่ผิวกระดาษเพิ่มขึ้น จะช่วยลดความพรุน ของผิวกระดาษและลดการดูดซึมของน้ำมันรวมถึงเพิ่มความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษได้ (Lipponen *et al.*, 2003)

ตารางที่ 6 น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาและปริมาณความชื้นของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันชื้นชนิดต่างๆ

ความเข้มข้น ออกซิไดซ์ สตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณ สารกันชื้น (ร้อยละ)	Baysize® BMP			Baysize® AGP			Cartacol® XPM		
		น้ำหนัก มาตรฐาน (กรัม/ตร.ม.)	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	น้ำหนัก มาตรฐาน (กรัม/ตร.ม.)	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	น้ำหนัก มาตรฐาน (กรัม/ตร.ม.)	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)
8	4	128.0 ± 0.0 ^c	0.180 ± 0.003 ^a	8.35 ± 0.02 ^c	128.3 ± 0.6 ^b	0.180 ± 0.004 ^a	8.49 ± 0.05 ^b	129.0 ± 0.0 ^b	0.180 ± 0.003 ^a	8.72 ± 0.06 ^b
8	8	128.0 ± 0.0 ^c	0.180 ± 0.004 ^a	8.47 ± 0.06 ^d	128.7 ± 0.6 ^b	0.180 ± 0.003 ^a	8.55 ± 0.09 ^b	129.0 ± 0.0 ^b	0.180 ± 0.004 ^a	8.82 ± 0.07 ^a
8	12	128.7 ± 0.6 ^b	0.180 ± 0.003 ^a	8.32 ± 0.03 ^c	128.7 ± 0.6 ^b	0.180 ± 0.002 ^a	8.55 ± 0.02 ^b	128.3 ± 0.6 ^b	0.180 ± 0.004 ^a	8.50 ± 0.03 ^d
15	4	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.003 ^a	8.66 ± 0.05 ^b	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	8.70 ± 0.02 ^a	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	8.74 ± 0.03 ^b
15	8	130.3 ± 0.6 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	8.79 ± 0.02 ^a	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	8.51 ± 0.10 ^b	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.001 ^a	8.44 ± 0.03 ^d
15	12	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	8.54 ± 0.02 ^c	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.003 ^a	8.78 ± 0.06 ^a	130.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	8.61 ± 0.05 ^c

^{abcde} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 น้ำหนักสารเคลือบในกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ

ความเข้มข้น ออกซิไคซ์สตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณ สารกันซึม (ร้อยละ)	น้ำหนักสารเคลือบ (coating weight) (กรัม/ตร.ม.)		
		Baysize [®]	Baysize [®]	Cartacol [®]
		BMP	AGP	XPM
8	4	3.01 ± 0.03 ^c	3.14 ± 0.56 ^b	3.45 ± 0.08 ^b
8	8	2.86 ± 0.08 ^c	3.37 ± 0.48 ^b	3.32 ± 0.09 ^b
8	12	3.66 ± 0.60 ^b	3.36 ± 0.55 ^b	3.13 ± 0.54 ^b
15	4	4.44 ± 0.06 ^a	4.39 ± 0.02 ^a	4.34 ± 0.03 ^a
15	8	4.58 ± 0.50 ^a	4.64 ± 0.13 ^a	4.72 ± 0.03 ^a
15	12	4.59 ± 0.03 ^a	4.29 ± 0.07 ^a	4.51 ± 0.06 ^a

^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3 สมบัติด้านการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม

2.3.1 ค่าการดูดซึมน้ำ

คุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำของกระดาษกราฟที่สามารถทดสอบได้ด้วย Cobb test (ASTM D3285-93) ซึ่งเป็นการหาปริมาณน้ำที่กระดาษกราฟที่ดูดซึมไว้ภายในเวลา 120 วินาที ทำการทดสอบทั้งด้านสักหลาด (felt side) และด้านตะแกรง (wire side) ผลของค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบ แสดงดังตารางที่ 8 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองแยกตามชนิดสารกันซึมได้ดังนี้

สำหรับสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP จากการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสักหลาด พบว่า ทั้งความเข้มข้นของออกซิไคซ์สตาร์ชและปริมาณของสารกันซึม Baysize[®] BMP มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสักหลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไคซ์สตาร์ชจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 15 จะมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเพิ่มปริมาณของ Baysize[®] BMP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 มีผลทำให้

การดูดซึมน้ำไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Baysize® BMP จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 จะทำให้การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านตะแกรงนั้นพบว่า มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง โดยเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 8 การเพิ่มปริมาณของ Baysize® BMP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านตะแกรงไม่มีการเปลี่ยนแปลงและเมื่อเพิ่มปริมาณของ Baysize® BMP จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 การดูดซึมน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 การเพิ่มปริมาณของสารกันซึม Baysize® BMP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ค่าการดูดซึมน้ำที่ด้านสกัดหลายจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรีตเมนต์ต่างๆ พบว่า ทรีตเมนต์ที่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษกราฟที่น้อยที่สุดคือการใช้ออกซิไดซ์สตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® BMP ปริมาณร้อยละ 4 หรือร้อยละ 8 โดยมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบร้อยละ 12.1 ที่ด้านสกัดหลายและร้อยละ 18.3 ที่ด้านตะแกรง

สำหรับสารกันซึม Baysize® AGP พบว่า มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณสารกันซึม Baysize® AGP ต่อการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสกัดหลาย โดยเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 การเพิ่มปริมาณของ Baysize® AGP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 นั้นจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ด้านสกัดหลายมีค่าคงที่ แต่เมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 การเพิ่มปริมาณของ Baysize® AGP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสกัดหลายมีค่าคงที่ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Baysize® AGP จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 ค่าการดูดซึมน้ำด้านสกัดหลายมีแนวโน้มลดลง สำหรับค่าการดูดซึมน้ำที่ด้านตะแกรงนั้นพบว่า มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณสารกันซึม Baysize® AGP เช่นเดียวกัน โดยเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 แล้ว การเพิ่มความเข้มข้นสารกันซึมจากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 แล้ว การเพิ่มความเข้มข้นสารกันซึมจากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงจะไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับทรีตเมนต์ที่ทำให้กระดาษกราฟที่หลังเคลือบมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP ปริมาณร้อยละ 4 หรือร้อยละ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบแล้วพบว่า หลังเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP ปริมาณร้อยละ 4 หรือร้อยละ 8 จะทำให้กระดาษกราฟที่มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงร้อยละ 12.3 ที่ด้านสกัดหลายและร้อยละ 17.1 ที่ด้านตะแกรง

และสำหรับสารกันซึม Cartacol® XPM ผลของค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวหนัง สักหลาดพบว่า มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง โดยเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้น ร้อยละ 8 การเพิ่มปริมาณของสารกันซึม Cartacol® XPM จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 จะทำให้ค่า การดูดซึมน้ำที่ผิวหนังสักหลาดไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Cartacol® XPM จากร้อย ละ 8 เป็นร้อยละ 12 ค่าการดูดซึมน้ำกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ช ความเข้มข้น ร้อยละ 15 การเพิ่มปริมาณของ Cartacol® XPM จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 นั้นจะทำให้ค่าการดูด ซึมน้ำที่ผิวหนังสักหลาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Cartacol® XPM จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 ค่าการ ดูดซึมน้ำที่ผิวหนังสักหลาดจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับผลของค่าการดูดซึมน้ำที่ด้านตะแกรง พบว่า มีปฏิกิริยาสัมพันธ์เช่นเดียวกัน โดยที่ระดับความเข้มข้นออกซิไดซ์สตาร์ชเท่ากับร้อยละ 8 การเพิ่มปริมาณของ Cartacol® XPM จะไม่มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำ แต่เมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชที่ ความเข้มข้นร้อยละ 15 การเพิ่มปริมาณของ Cartacol® XPM จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 จะทำให้ค่า การดูดซึมน้ำมีค่าลดลงและเมื่อเพิ่มปริมาณ Cartacol® XPM จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 12 ค่าการดูด ซึมน้ำที่ผิวหนังด้านตะแกรงจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทริตเมนต์ต่างๆ แล้วพบว่า ทริตเมนต์ที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษกราฟที่น้อยที่สุดคือ การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความ เข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Cartacol® XPM ปริมาณร้อยละ 4 หรือร้อยละ 8 และเมื่อ เปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบแล้วพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำลดลงร้อยละ 10.8 ที่ ด้านสักหลาดและร้อยละ 15.1 ที่ด้านตะแกรง

เมื่อพิจารณาโดยรวมจากผลการทดลองนี้พบว่า ระดับความเข้มข้นของ ออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสมที่จะสามารถช่วยลดการดูดซึมน้ำให้กระดาษ กราฟที่ได้สำหรับสารกันซึมชนิด Baysize® BMP Baysize® AGP และ Cartacol® XPM คือ การใช้ ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมปริมาณร้อยละ 4 หรือร้อยละ 8

สังเกตได้ว่าถึงแม้จะเคลือบกระดาษเฉพาะด้านสักหลาดเท่านั้น แต่การดูดซึมน้ำของกระดาษกราฟที่ด้านตะแกรงก็ลดลงด้วยและมีร้อยละของการลดลงมากกว่าที่ผิวหนัง สักหลาด ผลนี้เนื่องมาจากการที่สารเคลือบซึมลงสู่ภายในโครงสร้างของกระดาษ ซึ่งจะไปทำให้ โครงสร้างที่มีรูพรุนของกระดาษลดลง ซึ่งเป็นผลโดยตรงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ด้านตะแกรงลดลง มากกว่าด้านสักหลาดซึ่งมีปริมาณของสตาร์ชปกคลุมที่ผิวหน้ามาก อาจเป็นสาเหตุให้ด้านสักหลาด มีการดูดซึมน้ำมากกว่าด้านตะแกรง

นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ช จะมีผลทำให้กระดาษกราฟที่มีการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสักลาดซึ่งเป็นด้านที่ถูกเคลือบเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษหลังเคลือบเพิ่มขึ้นนั้น น่าจะเป็นผลโดยตรงจากการที่มีสารเคลือบอยู่ที่ผิวกระดาษมากกว่าจะเกิดจากการดูดซึมน้ำของเส้นใยแล้วทำให้เส้นใยบวม (Rhim *et al.*, 2005) ดังนั้น การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้มีปริมาณสารตกค้างอยู่บนผิวกระดาษด้านสักลาดมาก เป็นผลให้การดูดซึมน้ำของกระดาษเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นสูงเกินไปยังส่งผลทำให้สารเคลือบแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างกระดาษเพื่ออุดช่องว่างภายในได้น้อยลง ผลนี้เกิดในทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Han and Krochta (1999) ที่ทำการเคลือบกระดาษด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองแล้วพบว่า การที่มีปริมาณสารตกค้างบนผิวกระดาษมาก จะทำให้คุณสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test) ของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ

ความเข้มข้น ออกซิไดซ์สตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณ สารกันซึม (ร้อยละ)	ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.)					
		Baysize [®] BMP		Baysize [®] AGP		Cartacol [®] XPM	
		ด้านสีกกลาง	ด้านตะแกรง	ด้านสีกกลาง	ด้านตะแกรง	ด้านสีกกลาง	ด้านตะแกรง
8	4	34.9 ± 0.9 ^{cd}	28.9 ± 0.4 ^b	34.2 ± 0.6 ^c	28.6 ± 0.6 ^c	34.8 ± 0.2 ^c	29.6 ± 0.4 ^{bc}
8	8	34.3 ± 0.3 ^d	28.2 ± 0.5 ^b	34.8 ± 0.4 ^c	29.3 ± 0.5 ^{bc}	35.4 ± 0.8 ^c	29.3 ± 0.9 ^{bc}
8	12	36.1 ± 0.7 ^c	31.2 ± 0.3 ^a	36.1 ± 0.3 ^c	30.2 ± 0.6 ^b	36.7 ± 0.3 ^b	30.7 ± 0.2 ^b
15	4	39.1 ± 0.5 ^b	30.8 ± 0.9 ^a	40.4 ± 0.7 ^a	32.5 ± 1.0 ^a	38.4 ± 0.7 ^a	32.4 ± 0.3 ^a
15	8	40.1 ± 1.0 ^{ab}	32.1 ± 1.0 ^a	39.6 ± 0.4 ^a	32.1 ± 0.5 ^a	37.3 ± 0.3 ^b	29.0 ± 0.1 ^c
15	12	40.6 ± 0.5 ^a	31.7 ± 0.6 ^a	38.2 ± 1.5 ^b	31.9 ± 0.4 ^a	36.9 ± 0.6 ^b	30.1 ± 1.6 ^{bc}

^{abcd} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3.2 ความต้านทานแรงดันทะลุ

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 9 พบว่า การใช้สารกันซึมชนิด Baysize® BMP Baysize® AGP หรือ Cartacol® XPM ให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน คือ เฉพาะปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดันทะลุอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 15 จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเท่ากับ 4.24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หลังจากเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมแล้ว ความต้านทานแรงดันทะลุจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.59 – 4.61 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 8.25 – 8.72 ส่วนการเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 ร่วมกับสารกันซึม ค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษกราฟที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.66 – 4.69 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 9.90 – 10.61 ค่าความต้านทานแรงดันทะลุที่เพิ่มขึ้นนี้เนื่องจาก เมื่อสารเคลือบถูกทำให้แห้ง ออกซิไดซ์สตาร์ชมีแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นฟิล์มได้ดี ได้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเหนียวเคลือบอยู่บนผิวกระดาษ (อุดมลักษณ์, 2545) และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในองค์ประกอบของสารเคลือบ มีผลทำให้ความหนืดของสารเคลือบเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลของค่าความหนืดที่วัดได้ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีเนื้อของสารตกค้างอยู่บนกระดาษกราฟที่มากขึ้นหลังจากทำให้แห้ง ความต้านทานต่อแรงดันทะลุจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชที่ระดับร้อยละ 8 นั้น นอกจากช่วยปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดันทะลุให้กระดาษกราฟที่หลังเคลือบได้แล้ว ยังช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิตได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15

ตารางที่ 9 ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับ สารกันซึมชนิดต่างๆ

ความเข้มข้น ออกซิไดซ์สตาร์ (ร้อยละ)	ปริมาณ สารกันซึม (ร้อยละ)	ความต้านทานแรงดันทะเล (กิโลกรัม/ตร.ซม.)		
		Baysize [®] BMP	Baysize [®] AGP	Cartacol [®] XPM
8	4	4.59 ± 0.04 ^b	4.59 ± 0.04 ^b	4.59 ± 0.03 ^b
8	8	4.61 ± 0.06 ^{ab}	4.59 ± 0.04 ^b	4.59 ± 0.04 ^b
8	12	4.59 ± 0.04 ^b	4.59 ± 0.04 ^b	4.59 ± 0.04 ^b
15	4	4.66 ± 0.04 ^{ab}	4.66 ± 0.04 ^{ab}	4.66 ± 0.04 ^{ab}
15	8	4.66 ± 0.04 ^{ab}	4.69 ± 0.04 ^a	4.66 ± 0.04 ^{ab}
15	12	4.69 ± 0.04 ^a	4.66 ± 0.04 ^{ab}	4.69 ± 0.04 ^a

^{ab} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3.3 ความต้านทานแรงกดวงแหวน

ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD และ CD ของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 10 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองแยกตามชนิดของสารกันซึมได้ดังนี้

สำหรับสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP ผลของค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD และ CD พบว่า เฉพาะปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD และทิส CD อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์จากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 15 มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนทั้งในทิส MD และ CD เพิ่มขึ้น และทริตเมนต์ที่ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนมากที่สุด คือ การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP ปริมาณร้อยละ 4 ร้อยละ 8 หรือร้อยละ 12 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนกับกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบแล้วพบว่า สามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD ได้ร้อยละ 7.89 และความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD ไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อใช้สารกันซึมชนิด Baysize® AGP ผลของค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD พบว่า เฉพาะปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชจากร้อยละ 8 เป็น 15 มีแนวโน้มที่จะทำให้ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD เพิ่มขึ้น สำหรับค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD พบว่ามีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณของสารกันซึม Baysize® AGP โดยเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 การเพิ่มปริมาณสารกันซึม Baysize® AGP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 การเพิ่มปริมาณของสารกันซึม Baysize® AGP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD มีแนวโน้มลดลง โดยมีทริตเมนต์ที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนมากที่สุดคือ การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP ปริมาณร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบความต้านทานแรงกดวงแหวนกับกระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบแล้วพบว่า การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP ปริมาณร้อยละ 4 สามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนได้ร้อยละ 11.7 ในทิส MD และร้อยละ 25.0 ในทิส CD

เมื่อใช้สารกันซึมชนิด Cartacol® XPM พบว่า มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชและปริมาณของสารกันซึมต่อความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD โดยเมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 แล้วการเพิ่มปริมาณสารกันซึม Cartacol® XPM จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 การเพิ่มปริมาณของสารกันซึม Baysize® AGP จากร้อยละ 4 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 12 ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD มีแนวโน้มลดลง สำหรับความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD พบว่าเฉพาะปริมาณของสารกันซึม Cartacol® XPM เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มปริมาณสารกันซึม Cartacol® XPM มีแนวโน้มทำให้ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD ค่อยๆลดลง สำหรับทริตเมนต์ที่ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนมากที่สุด คือ การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 และสารกันซึม Cartacol® XPM ปริมาณร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบจะมีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0 ในทิส MD และร้อยละ 8.0 ในทิส CD

ตารางที่ 10 ความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ

ความเข้มข้นสตาร์ช (ร้อยละ)	ปริมาณสารกันซึม (ร้อยละ)	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร)					
		Baysize® BMP		Baysize® AGP		Cartacol® XPM	
		ทิส MD	ทิส CD	ทิส MD	ทิส CD	ทิส MD	ทิส CD
8	4	0.95 ± 0.04 ^b	0.75 ± 0.1 ^c	1.06 ± 0.03 ^b	0.78 ± 0.1 ^c	1.03 ± 0.01 ^b	0.80 ± 0.04 ^a
8	8	0.99 ± 0.01 ^{ab}	0.79 ± 0.1 ^{abc}	1.05 ± 0.03 ^b	0.81 ± 0.2 ^c	1.02 ± 0.03 ^c	0.75 ± 0.01 ^b
8	12	0.99 ± 0.04 ^{ab}	0.76 ± 0.3 ^{bc}	1.09 ± 0.03 ^{ab}	0.92 ± 0.1 ^{ab}	1.03 ± 0.03 ^b	0.74 ± 0.01 ^b
15	4	1.02 ± 0.02 ^a	0.80 ± 0.1 ^{ab}	1.15 ± 0.01 ^a	0.95 ± 0.1 ^a	1.06 ± 0.03 ^a	0.82 ± 0.01 ^a
15	8	1.03 ± 0.01 ^a	0.80 ± 0.3 ^{ab}	1.11 ± 0.01 ^{ab}	0.91 ± 0.4 ^b	1.05 ± 0.04 ^a	0.76 ± 0.03 ^b
15	12	1.03 ± 0.04 ^a	0.82 ± 0.2 ^a	1.10 ± 0.01 ^{ab}	0.89 ± 0.1 ^b	1.03 ± 0.05 ^b	0.76 ± 0.01 ^b

^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า โดยภาพรวมแล้วการเคลือบกระดาษกราฟที่ด้วยออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึมชนิดต่างๆ ยังไม่สามารถเพิ่มความต้านทานแรงกดวงแหวนให้กระดาษได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Rhim *et al.* (2006) ที่ว่าค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษไม่ได้สามารถเพิ่มได้ด้วยการเคลือบ อย่างไรก็ตาม กระดาษกราฟที่หลังเคลือบยังคงรักษาระดับความแข็งแรงไว้ได้ไม่แตกต่างจากกระดาษไม่เคลือบ

2.4 ลักษณะผิวหน้าและภาพตัดขวางของกระดาษกราฟที่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

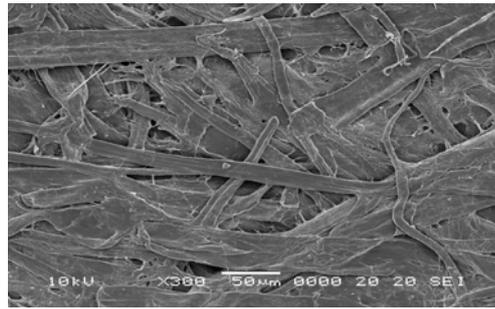
การศึกษาลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ช่วยอธิบายถึงความหนาที่สม่ำเสมอ การดูดซับน้ำที่ลดลงและการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษได้ เนื่องจากผิวหน้ากระดาษถูกปกคลุมด้วยชั้นฟิล์มบางๆ และโครงสร้างที่มีรูพรุนของกระดาษลดลง กระดาษกราฟที่ก่อนและหลังจากเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP Baysize[®] AGP และ Cartacol[®] XPM แสดงดังภาพที่ 18 ภาพที่ 19 และ ภาพที่ 20 ตามลำดับ สังเกตได้ว่ากระดาษกราฟที่ที่ไม่ผ่านการเคลือบจะมีผิวหน้าที่มีรูพรุนมาก มองเห็นการประสานกันของเส้นใยชัดเจน เมื่อทำการเคลือบแล้วจะเกิดแผ่นฟิล์มบนผิวกระดาษทำให้ผิวหน้ากระดาษเรียบ มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น (Mutsui *et al.*, 2003) และช่องว่างต่างๆ ถูกเติมไปด้วยสารเคลือบ การดูดซับน้ำผ่านช่องว่างของโครงสร้างกระดาษเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่การดูดซับโดยเส้นใยเซลลูโลสนั้นเกิดได้ช้า ดังนั้นหลังจากการเคลือบ เมื่อช่องว่างภายในกระดาษลดลง การดูดซับน้ำของกระดาษกราฟที่จึงน้อยลง (Keskitalo, 2000)

การใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 จะทำให้เกิดฟิล์มที่ปกคลุมผิวกระดาษได้มากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 เนื่องจากมีความหนืดสูง สังเกตเห็นได้ว่าจะมองเห็นเส้นใยได้น้อยลง และน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวกระดาษเรียบยิ่งขึ้น (Han and Krochta, 2001) อย่างไรก็ตาม ออกซิไดซ์สตาร์ความเข้มข้นต่ำหรือสารละลายที่มีความหนืดต่ำกว่านั้น จะทำให้สารสามารถกระจายตัวและซึมลงไปใ้ในเนื้อกระดาษได้มากกว่า และยังเหลือปริมาณสารที่ปกคลุมอยู่ที่ผิวกระดาษเช่นกัน ดังนั้น การใช้ออกซิไดซ์สตาร์ความเข้มข้นร้อยละ 8 จึงมีความเหมาะสมกว่าที่ร้อยละ 15 ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าการดูดซับน้ำของกระดาษที่ได้คือ การใช้

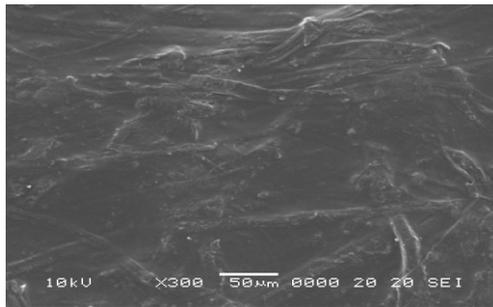
สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ช่วยลดการดูดซึมน้ำให้กระดากได้ แต่การใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 ไม่สามารถลดการดูดซึมน้ำได้

สำหรับความแตกต่างของการใช้สารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP Baysize[®] AGP และ Cartacol[®] XPM ที่ปริมาณร้อยละ 4 ร้อยละ 8 และร้อยละ 12 นั้นพบว่า การใช้สารกันซึม Baysize[®] BMP ที่ปริมาณร้อยละ 12 จะทำให้สารเคลือบเกิดตะกอนง่ายในระหว่างขั้นตอนการเคลือบ และสังเกตเห็นฟองอากาศบนผิวกระดากดังภาพที่ 18 (d) และ (g) แต่สำหรับสารกันซึมชนิด Baysize[®] AGP และ Cartacol[®] XPM แล้ว จะสังเกตเห็นฟองอากาศบนผิวกระดากเกิดขึ้นเมื่อใช้สารกันซึมปริมาณร้อยละ 12 ผสมร่วมกับสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 15 เท่านั้น ดังภาพที่ 19 (g) และภาพที่ 20 (g) ตามลำดับ

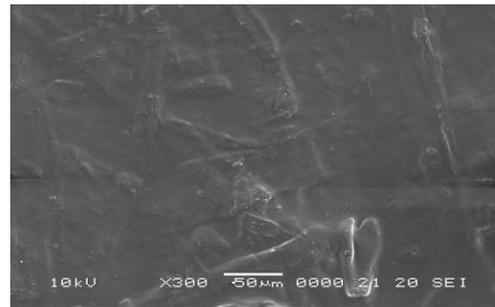
การศึกษาลักษณะภาพตัดขวางของกระดากกราฟท์ก่อนและหลังเคลือบ จะใช้ตัวอย่างกระดากกราฟท์ที่เคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 และร้อยละ 15 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP ปริมาณร้อยละ 4 (ภาพที่ 21) สังเกตได้ว่า กระดากกราฟท์ก่อนเคลือบมีความหนาไม่สม่ำเสมอและภายในโครงสร้างมีช่องว่างอยู่มาก หลังจากเคลือบแล้วจะมีความหนาเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้นของสารเคลือบ สอดคล้องกับผลการวัดค่าความหนาที่ได้ ซึ่งกระดากกราฟท์หลังเคลือบจะมีความหนาขึ้นประมาณ 0.006 มิลลิเมตร นอกจากนี้ ผิวกระดากจะมีความเรียบสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นสอดคล้องกับผลของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาที่ลดลง นอกจากนี้ยังมองเห็นช่องว่างภายในเนื้อกระดากกราฟท์ลดลงด้วย



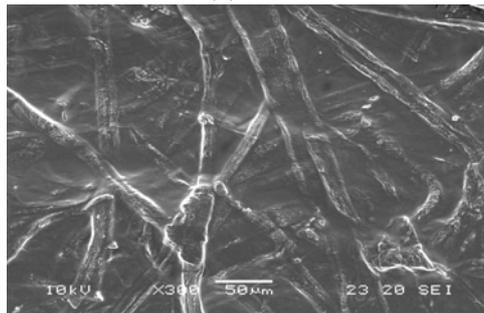
(a) uncoated



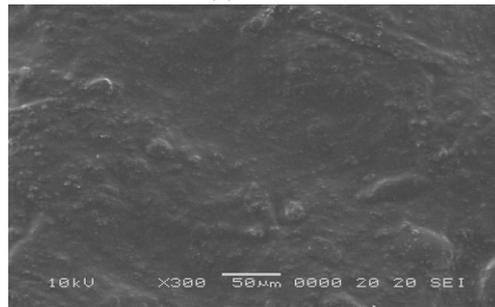
(b) 8/4



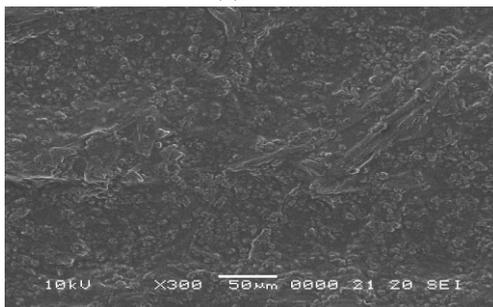
(e) 15/4



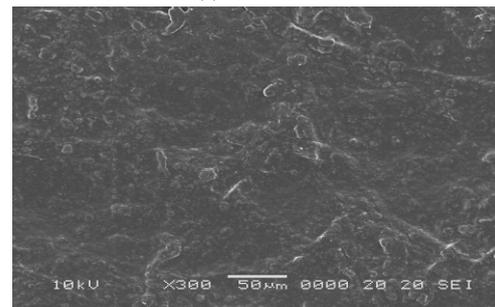
(c) 8/8



(f) 15/8

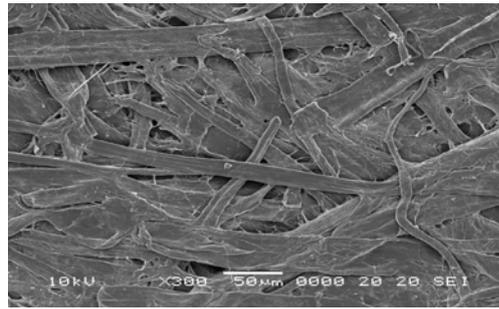


(d) 8/12

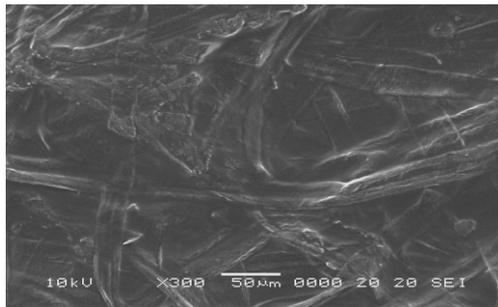


(g) 15/12

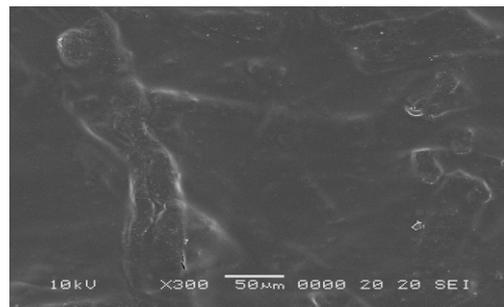
ภาพที่ 18 ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize[®] BMP ร้อยละ 4 (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize[®] BMP ร้อยละ 8 (d) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize[®] BMP ร้อยละ 12 (e) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize[®] BMP ร้อยละ 4 (f) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize[®] BMP ร้อยละ 8 (g) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize[®] BMP ร้อยละ 12



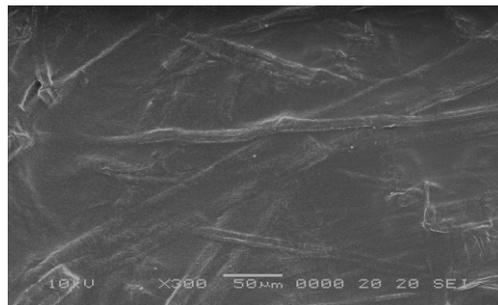
(a) uncoated



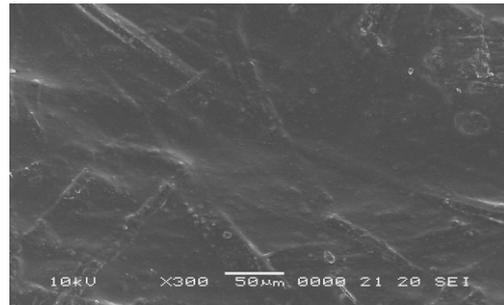
(b) 8/4



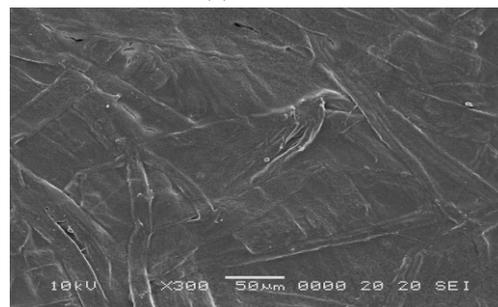
(e) 15/4



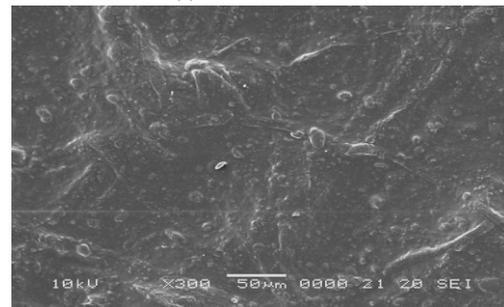
(c) 8/8



(f) 15/8

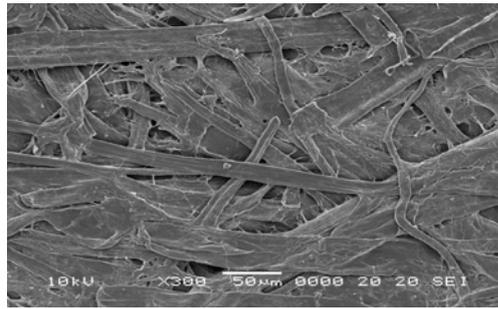


(d) 8/12

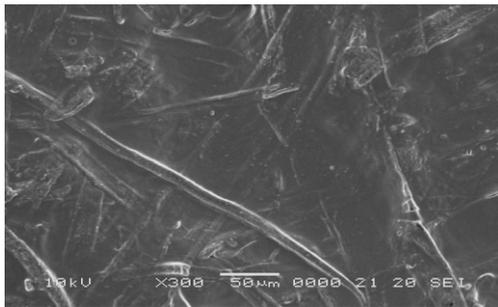


(g) 15/12

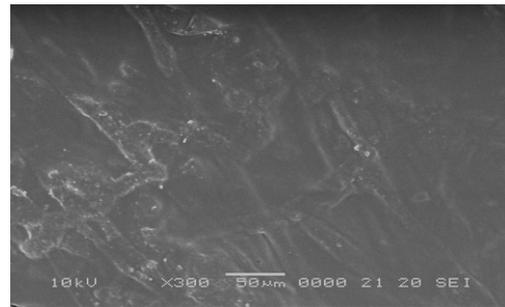
ภาพที่ 19 ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® AGP ร้อยละ 4 (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® AGP ร้อยละ 8 (d) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize® AGP ร้อยละ 12 (e) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® AGP ร้อยละ 4 (f) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® AGP ร้อยละ 8 (g) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize® AGP ร้อยละ 12



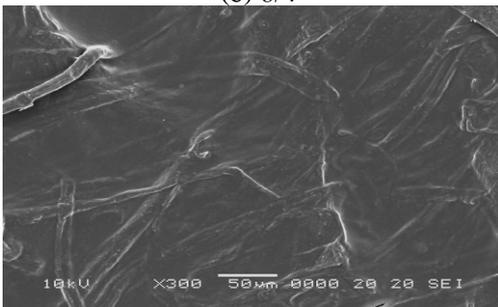
(a) uncoated



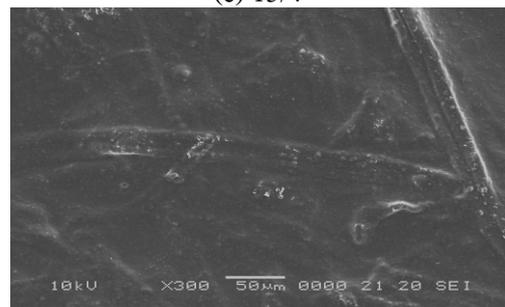
(b) 8/4



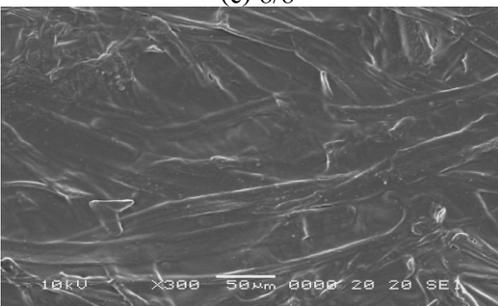
(e) 15/4



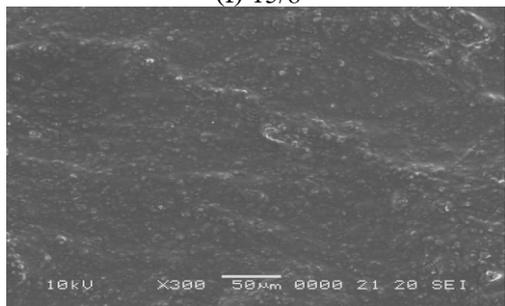
(c) 8/8



(f) 15/8

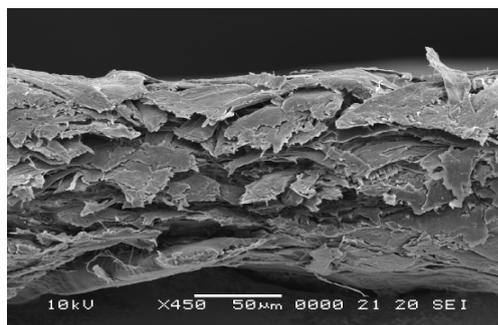


(d) 8/12

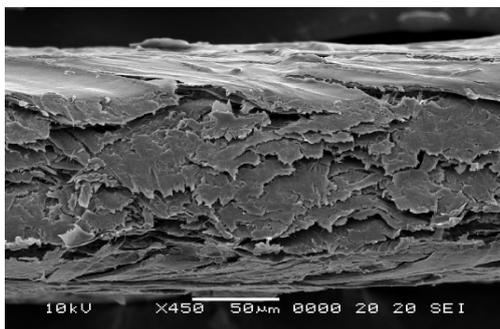


(g) 15/12

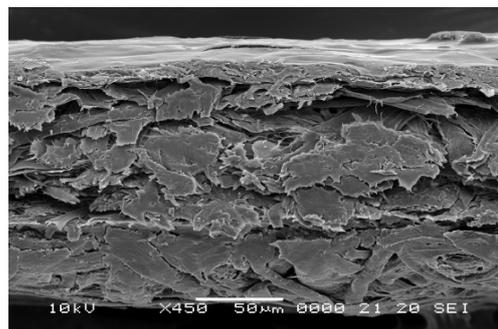
ภาพที่ 20 ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Cartacol[®] XPM ร้อยละ 4 (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Cartacol[®] XPM ร้อยละ 8 (d) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Cartacol[®] XPM ร้อยละ 12 (e) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Cartacol[®] XPM ร้อยละ 4 (f) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Cartacol[®] XPM ร้อยละ 8 (g) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Cartacol[®] XPM ร้อยละ 12



(a) uncoated



(b) 8/4



(c) 15/4

ภาพที่ 21 ลักษณะภาพตัดขวางของกระดาษกราฟที่ขยาย 450 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ (b) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 Baysize[®] BMP ร้อยละ 4 (c) เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 15 Baysize[®] BMP ร้อยละ 4

ในการพิจารณาเลือกระดับความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ช ปริมาณสารกันซึมและชนิดของสารกันซึมที่เหมาะสมเพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปนั้น จะพิจารณาจากระดับความเข้มข้นที่ทำให้กระดาษกราฟที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดและสามารถปรับปรุงหรือรักษา ค่าความแข็งแรงเชิงกลได้เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบและมีความเหมาะสมในด้านต้นทุนการผลิต สำหรับสารกันซึม Baysize[®] BMP แล้วการใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีความเหมาะสมกว่าที่ร้อยละ 15 เนื่องจากช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้มากกว่า ส่วนปริมาณสารกันซึมที่เลือกใช้คือร้อยละ 8 เนื่องจากที่ปริมาณร้อยละ 4 นั้นทำให้ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ โดยการเคลือบกระดาษด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize[®] BMP ปริมาณร้อยละ 8 ช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 12.1 ที่ด้านสัทหลาดและร้อยละ 18.3 ที่ด้านตะแกรง และช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดันทะลุได้ร้อยละ 9.5 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ ส่วนค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD และ CD พบว่ามีค่าไม่แตกต่างจากกระดาษไม่เคลือบมากนัก

สำหรับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP แล้วการใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีความเหมาะสมกว่าที่ร้อยละ 15 เช่นเดียวกันเนื่องจากช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้มากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาณสารกันซึม Baysize® AGP ที่เลือกใช้คือปริมาณร้อยละ 4 เนื่องจากทำให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและมีความเหมาะสมด้านต้นทุนการผลิต โดยการเคลือบกระดาษกราฟที่ด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP ปริมาณร้อยละ 4 ช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 12.3 ที่ด้านสักหลาดและร้อยละ 17.1 ที่ด้านตะแกรง และช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดันทะลุได้ร้อยละ 8.8 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ ส่วนค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD และ CD พบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจากกระดาษไม่เคลือบ

และสำหรับสารกันซึมชนิด Cartacol® XPM การใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีความเหมาะสมกว่าที่ร้อยละ 15 เช่นเดียวกันเนื่องจากช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้มากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาณสารกันซึม Cartacol® XPM ที่เลือกใช้คือปริมาณร้อยละ 4 เช่นเดียวกัน เนื่องจากทำให้ค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างจากที่ปริมาณร้อยละ 8 แต่ที่ปริมาณร้อยละ 4 มีความเหมาะสมทางต้นทุนการผลิตมากกว่า โดยการเคลือบกระดาษกราฟที่ด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Cartacol® XPM ปริมาณร้อยละ 4 ช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 10.8 ที่ด้านสักหลาดและร้อยละ 14.2 ที่ด้านตะแกรง และเพิ่มค่าความต้านทานแรงดันทะลุได้ร้อยละ 8.8 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ ส่วนค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน พบว่ามีค่าไม่เปลี่ยนแปลงในทิศ MD และมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.26 ในทิศ CD

ตารางที่ 11 และ 12 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบและกระดาษกราฟหลังเคลือบด้วยทรีตเมนต์ที่คัดเลือกจากสารกันซึมแต่ละชนิด พบว่าโดยรวมแล้วกระดาษหลังเคลือบทุกทรีตเมนต์มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความชื้น การดูดซึมน้ำ ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงกดวงแหวนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารกันซึมชนิด Cartacol® XPM มีราคาต่อกิโลกรัมเท่ากับสารกันซึมชนิด Baysize® AGP คือ 1.0 US\$/กิโลกรัม ในขณะที่สารกันซึมชนิด Baysize® BMP มีราคา 1.1 US\$/กิโลกรัม ในการศึกษาขั้นต่อไปจะมีการนำสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (Kymene® 557H) มาใช้ ซึ่งเป็นชนิดที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานร่วมกับสารละลายในสภาวะต่าง และสารกันซึมชนิด Cartacol® XPM มีสถานะที่เป็นต่าง ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้สารละลายสตาร์ชร้อยละ 8 ร่วมกับสารกันซึมชนิด Cartacol® XPM ปริมาณร้อยละ 4 ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบด้วยทรีตเมนต์ที่คัดเลือกจากสารกันซึมแต่ละชนิด

ทรีตเมนต์	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตร.ม.)	ความหนา (มม.)	ความชื้น (ร้อยละ)	น้ำหนักสารเคลือบ (กรัม/ตร.ม.)
กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ	125.0 ± 0.0 ^b	0.174 ± 0.018 ^b	8.56 ± 0.05 ^b	-
8/BMP 8 ¹	128.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.004 ^a	8.47 ± 0.06 ^b	2.86 ± 0.08 ^b
8/AGP 4 ²	128.3 ± 0.6 ^a	0.180 ± 0.004 ^a	8.49 ± 0.05 ^b	3.37 ± 0.48 ^{ab}
8/XPM 4 ³	129.0 ± 0.0 ^a	0.180 ± 0.005 ^a	8.72 ± 0.06 ^a	3.32 ± 0.09 ^a

^{ab} ตัวอักษรต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ ออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 สารกันซึม Baysize[®] BMP ร้อยละ 8

² ออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 สารกันซึม Baysize[®] AGP ร้อยละ 4

³ ออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 สารกันซึม Cartacol[®] XPM ร้อยละ 4

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติเชิงกลของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบด้วยทรีตเมนต์ที่คัดเลือกจากสารกันซึมแต่ละชนิด

ทรีตเมนต์	การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.)		ความต้านทาน แรงดันทะลุ (กิโลกรัม/ ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงกดวง แหวน (กิโลนิวตัน/เมตร)	
	ด้าน ตั้ง	ด้าน ตะแคง		ทิศ MD	ทิศ CD
	กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ	39.0 ± 1.0 ^a	34.5 ± 2.1 ^a	60.0 ± 1.2 ^b	1.03 ± 0.07 ^a
8/BMP 8 ¹	34.3 ± 0.3 ^b	28.2 ± 0.5 ^b	65.7 ± 0.6 ^a	0.99 ± 0.01 ^a	0.79 ± 0.01 ^a
8/AGP 4 ²	34.2 ± 0.6 ^b	28.6 ± 0.6 ^b	65.3 ± 0.6 ^a	1.06 ± 0.03 ^a	0.78 ± 0.01 ^a
8/XPM 4 ³	34.7 ± 0.2 ^b	28.6 ± 0.6 ^b	65.3 ± 0.6 ^a	1.03 ± 0.01 ^a	0.80 ± 0.04 ^a

^{ab} ตัวอักษรต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ ออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 สารกันซึม Baysize[®] BMP 8 กรัม

² ออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 สารกันซึม Baysize[®] AGP 4 กรัม

³ ออกซิไดซ์สตาร์ชร้อยละ 8 สารกันซึม Cartacol[®] XPM 4 กรัม

3. ศึกษาอิทธิพลของการใช้สารละลายสตาร์ชตัดแปรต่างชนิดร่วมกับสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟท์

ในการศึกษาต่อไปนี้จะพิจารณาถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงชนิดขององค์ประกอบในสารเคลือบเพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษกราฟท์ในด้านความต้านทานการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงเชิงกล โดยสตาร์ชตัดแปรที่เลือกใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายออกซิไคซ์สตาร์ชและสารละลายไฮโดรโพลิบิกสตาร์ช ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก) และสารกันซึมที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ สารกันซึม Cartacol[®] XPM แปร 2 ลักษณะ คือ เติมสารกันซึมที่ปริมาณร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักสารละลายสตาร์ช) และไม่เติมสารกันซึม ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบ

ค่าความหนืดและค่ากรด-ด่างของสารละลายออกซิไคซ์สตาร์ช ออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM สารละลายไฮโดรโพลิบิกสตาร์ชและไฮโดรโพลิบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM แสดงดังตารางที่ 13 พบว่า ชนิดของสตาร์ชตัดแปรมีอิทธิพลต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติมสารกันซึมนั้นไม่มีผล สารเคลือบที่มีสารละลายของไฮโดรโพลิบิกสตาร์ชเป็นองค์ประกอบนั้นจะมีความหนืดมากกว่าสารเคลือบที่มีสารละลายของออกซิไคซ์สตาร์ชเป็นองค์ประกอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความหนืดมากกว่าประมาณ 1.3 เท่า ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ทั้งชนิดของสารละลายสตาร์ชและการเติมสารกันซึมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ากรด-ด่าง โดยการใช้สารละลายไฮโดรโพลิบิกสตาร์ชจะทำให้สารเคลือบมีค่ากรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM ลงไปในองค์ประกอบของสารเคลือบนั้น มีผลทำให้ค่ากรด-ด่างสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารกันซึม Cartacol[®] XPM เป็นสารที่มีค่ากรด-ด่างอยู่ในช่วงของความเป็นด่าง

ตารางที่ 13 ความหนืดและค่ากรด-ด่างของสตาร์ชตัดแปรและสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม
Cartacol® XPM

สารละลายสตาร์ช	ปริมาณสารกันซึม Cartacol® XPM (ร้อยละ)	ความหนืด (เซนติพอยต์)	ค่ากรด-ด่าง
ออกซิไคซ์สตาร์ช	0	12 ± 0.7 ^b	6.13 ± 0.09 ^c
ออกซิไคซ์สตาร์ช	4	12 ± 0.3 ^b	9.58 ± 0.10 ^a
ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช	0	16 ± 0.4 ^a	5.55 ± 0.12 ^d
ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช	4	16 ± 0.4 ^a	8.34 ± 0.09 ^b

abcd ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 สมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบสตาร์ชตัดแปรและสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

สมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟท์ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความชื้นและน้ำหนักสารเคลือบแสดงดังตารางที่ 14 พบว่า ทั้งชนิดของสารละลายสตาร์ชตัดแปรและการเติมสารกันซึม Cartacol® XPM ไม่มีอิทธิพลต่อค่าน้ำหนักมาตรฐาน ความหนาและน้ำหนักสารเคลือบของกระดาษ แต่ทั้งชนิดของสารละลายสตาร์ชตัดแปรและการเติมสารกันซึม Cartacol® XPM มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นของกระดาษอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชและการเติมสารกันซึมมีแนวโน้มทำให้กระดาษมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

สำหรับปริมาณความชื้นในกระดาษที่ทดสอบได้ในครั้งนี้มีค่าสูงเกินระดับที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระดาษกราฟท์คือร้อยละ 6-9 เนื่องจากกระดาษกราฟท์ตัวอย่างถูกเก็บไว้เป็นเวลานานก่อนนำมาทดลอง ทำให้มีโอกาสที่กระดาษจะดูดความชื้นจากภายนอกได้ อย่างไรก็ตามเมื่อวัดปริมาณความชื้นของกระดาษก่อนเคลือบพบว่ามีความชื้นเท่ากับร้อยละ 9.38 หลังจากการเคลือบแล้วปริมาณความชื้นมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 3-5 แสดงว่ากระดาษหลังเคลือบยังมีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตกระดาษลูกฟูกได้

ตารางที่ 14 สมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟที่เคลือบสตา์ซ์ตัดแปรและสตา์ซ์ตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM

สารละลายสตา์ซ์	ปริมาณ	น้ำหนัก	ความหนา	ปริมาณ	น้ำหนักสาร
	สารกันซึม	มาตรฐาน	(มม.)	ความชื้น	เคลือบ
	Cartacol [®]	(กรัม/ตร.ม)		(ร้อยละ)	(coating
	XPM				weight)
	(ร้อยละ)				(กรัม/ตร.ม)
ออกซิไดซ์สตา์ซ์	0	128.0 ± 0.3 ^a	0.180 ± 0.001 ^a	8.93 ± 0.03 ^b	3.32 ± 0.30 ^a
ออกซิไดซ์สตา์ซ์	4	128.8 ± 0.4 ^a	0.180 ± 0.003 ^a	9.40 ± 0.17 ^a	3.41 ± 0.06 ^a
ไฮโดรโฟบิกสตา์ซ์	0	128.5 ± 0.1 ^a	0.179 ± 0.001 ^a	9.40 ± 0.03 ^a	3.18 ± 0.10 ^a
ไฮโดรโฟบิกสตา์ซ์	4	129.0 ± 0.9 ^a	0.180 ± 0.002 ^a	9.66 ± 0.25 ^a	3.30 ± 0.45 ^a

^{ab} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3 สมบัติด้านการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบสตา์ซ์ตัดแปรและสตา์ซ์ตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM

ค่าการดูดซึมน้ำ ความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษกราฟที่เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตา์ซ์ ออกซิไดซ์สตา์ซ์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM สารละลายไฮโดรโฟบิกสตา์ซ์และไฮโดรโฟบิกสตา์ซ์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM แสดงดังตารางที่ 15 สามารถวิเคราะห์ห้อทธิพลของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

สำหรับค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสักหลาด พบว่า มีปฏิกิริยสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารละลายสตา์ซ์และการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM โดยเมื่อใช้สารละลายออกซิไดซ์สตา์ซ์แล้วการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีแนวโน้มทำให้กระดาษกราฟที่หลังเคลือบมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง ในขณะที่เมื่อใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตา์ซ์แล้วการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM จะมีแนวโน้มทำให้กระดาษกราฟที่หลังเคลือบมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าสารละลายสตา์ซ์และสารกันซึมเป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยากันเพื่อสร้างฟิล์มบนผิวกระดาษได้ ภายในโมเลกุลของสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีหมู่คาร์บอกซิลที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาคับกับหมู่ไฮดรอกซิลหรือคาร์บอกซิลบน โมเลกุลของออกซิไดซ์สตา์ซ์ได้ 3 หมู่ ในขณะที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาคับกับหมู่ไฮดรอกซิลบน โมเลกุลของไฮโดรโฟบิกสตา์ซ์ได้เพียง 2 หมู่ นอกจากนี้

ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชยังมีหมู่ไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว (ภาพที่ 9) ทำให้ไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ชและสารกันซึมซึ่งอาจส่งผลต่อการเกิดแผ่นฟิล์มบนผิวกระดาษได้ อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียวจะทำให้กระดาษคราฟท์หลังเคลือบมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดคือ มีค่าเท่ากับ 32.1 กรัมต่อตารางเมตร เมื่อเทียบกับกระดาษไม่เคลือบแล้วพบว่าค่าการดูดซึมน้ำลดลงร้อยละ 17.7

สำหรับผลของค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวหนังตะแกรง พบว่า ทั้งชนิดของสารละลายสตาร์ชและการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM นั้นไม่มีอิทธิพลต่อการลดลงของค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวหนังตะแกรง อาจมีสาเหตุมาจากด้านตะแกรงเป็นด้านที่ไม่มีการเคลือบ การที่ค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวหนังตะแกรงของกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบมีค่าลดลงจากกระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบ เป็นเพราะว่าสารเคลือบมีการซึมเข้าไปอุดช่องว่างภายในเนื้อกระดาษ ดังนั้นกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบทั้ง 4 ทริตเมนต์จึงมีค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวหนังตะแกรงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบแล้ว จะเห็นว่าการเคลือบกระดาษช่วยลดการดูดซึมน้ำที่ผิวหนังตะแกรงได้ร้อยละ 14.5 ถึง 16.8

ผลของค่าความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษคราฟท์ พบว่า ชนิดของสารละลายสตาร์ชมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดันทะเลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM นั้นไม่มีอิทธิพล โดยการใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชจะทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงดันทะเลสูงกว่าการใช้สารละลายออกซิไคซ์สตาร์ช เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดันทะเลกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบแล้ว การใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชในการเคลือบกระดาษจะช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดันทะเลได้ร้อยละ 12.4 ส่วนสารละลายออกซิไคซ์สตาร์ชเพิ่มได้ร้อยละ 9.6 หรือกล่าวได้ว่าสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดันทะเลได้มากกว่าออกซิไคซ์สตาร์ช 1.3 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชมีความหนืดที่สูงกว่าสารละลายออกซิไคซ์สตาร์ช ทำให้มีปริมาณเนื้อสารที่สามารถตกค้างอยู่บนผิวกระดาษได้มากกว่า เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักสารเคลือบของการใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชหรือออกซิไคซ์สตาร์ชซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าน้ำหนักของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นนั้นส่วนใหญ่สารจะปรากฏอยู่บนผิวกระดาษมากทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงดันทะเลสูง ส่วนออกซิไคซ์สตาร์ชนั้นจะมีทั้งส่วนที่อยู่บนผิวและถูกดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างกระดาษ

ตารางที่ 15 สมบัติการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบสตาร์ชตัดแปรและสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

สารละลายสตาร์ช	ปริมาณสารกันซึม Cartacol® XPM (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.)		ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลกรัม/ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร)	
		ด้านสัทพลาด	ด้านตะแกรง		ทิศ MD	ทิศ CD
ออกซิไดซ์สตาร์ช	0	35.2 ± 0.3 ^a	28.8 ± 0.7 ^a	4.68 ± 0.05 ^{ab}	1.02 ± 0.04 ^b	0.74 ± 0.02 ^b
ออกซิไดซ์สตาร์ช	4	34.8 ± 0.07 ^a	29.5 ± 0.5 ^a	4.61 ± 0.05 ^b	1.03 ± 0.02 ^{ab}	0.85 ± 0.02 ^a
ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	0	32.1 ± 0.2 ^c	28.7 ± 0.4 ^a	4.80 ± 0.04 ^a	1.10 ± 0.07 ^a	0.75 ± 0.01 ^b
ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	4	33.9 ± 0.3 ^b	29.1 ± 0.5 ^a	4.79 ± 0.04 ^a	1.08 ± 0.02 ^{ab}	0.84 ± 0.03 ^a

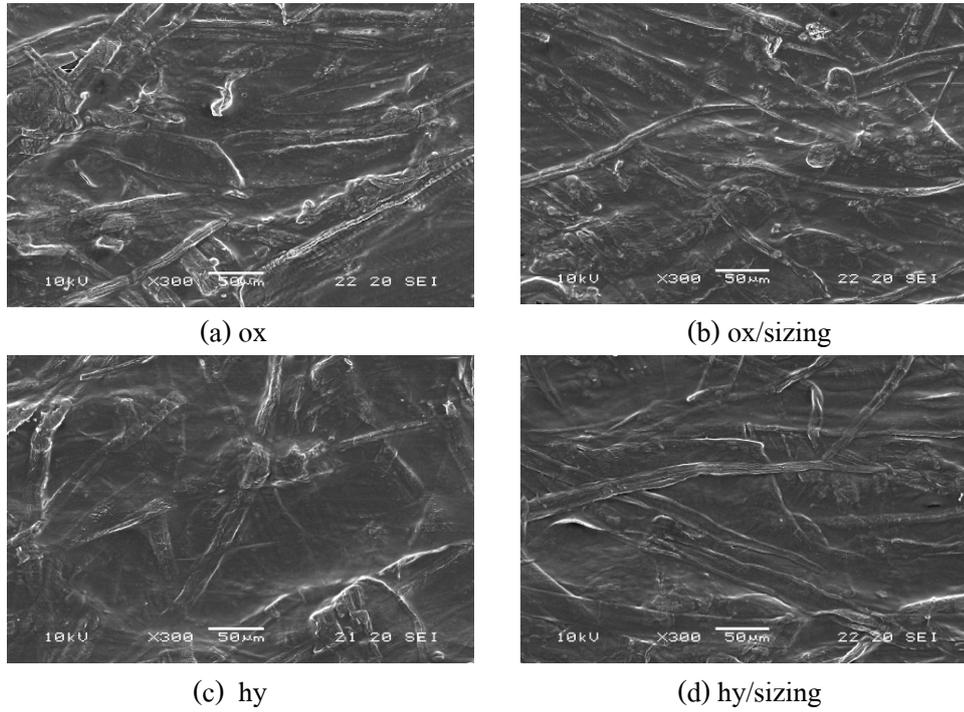
^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD พบว่า ชนิดของสารละลายสตาร์ช มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM นั้นไม่มีอิทธิพล โดยการใช้สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเคลือบกระดาษมีแนวโน้มทำให้กระดาษกราฟที่มีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD สูงขึ้น โดยมีค่าสูงกว่าใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชเคลือบกระดาษประมาณ 1.1 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบแล้ว การเคลือบด้วยสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชช่วยเพิ่มความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD ได้ร้อยละ 5.9 ถึง 7.8

ส่วนค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD พบว่า การเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนชนิดของสารละลายสตาร์ชนั้นไม่มีอิทธิพล การเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM ลงไปในสารเคลือบมีแนวโน้มช่วยเพิ่มความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD ได้ โดยทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD เพิ่มขึ้นประมาณ 1.1 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบแล้ว การใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM หรือสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ช่วยเพิ่มความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD ได้ร้อยละ 10.5 ถึง 11.8

1.4 ลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช และสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM แสดงดังภาพที่ 22 จะเห็นว่าไม่สังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM หรือสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM



ภาพที่ 22 ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช (b) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกั้นซึม Cartacol[®] XPM (c) เคลือบสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (d) เคลือบสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกั้นซึม Cartacol[®] XPM

4. ศึกษาอิทธิพลของการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกในสารเคลือบที่ประกอบด้วยสตาร์ชตัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟ

การศึกษาอิทธิพลของการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกนี้จะนำเอาสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (Kymene® 557H) มาใช้เป็นส่วนผสมในสารเคลือบ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึม Cartacol® XPM และชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นไฮโดรโฟบิกสตาร์ชและสารกันซึม Cartacol® XPM เพื่อหาแนวทางเพิ่มเติมที่จะทำให้กระดาษกราฟที่หลังเคลือบมีความต้านทานน้ำได้ดีขึ้นและสามารถรักษาความแข็งแรงไว้ได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูง เช่น ในห้องเย็น เป็นต้น ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบ

ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรด-ด่างของสารเคลือบที่ผสมระหว่างสารละลายสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก แสดงดังตารางที่ 16 พบว่า ทริตเมนต์ของสารเคลือบมีอิทธิพลทำให้ความหนืดและค่ากรด-ด่างของสารเคลือบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกมีผลทำให้ความหนืดของสารเคลือบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 1.8 เท่าสำหรับสารเคลือบที่มีออกซิไดซ์สตาร์ชเป็นองค์ประกอบ และมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 1.5 เท่าสำหรับสารเคลือบที่มีไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารเคลือบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกมีค่ากรด-ด่างเริ่มต้นประมาณ 4.75

4.2 สมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบ

นำหน้ากระดาษ ความหนา ปริมาณความชื้นและน้ำหนักสารเคลือบของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบแสดงดังตารางที่ 16 พบว่า ทริตเมนต์ของสารเคลือบไม่มีอิทธิพลต่อค่าหน้ากระดาษ ความหนา ปริมาณความชื้นและน้ำหนักสารเคลือบ แสดงว่าการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในสารเคลือบที่มีองค์ประกอบเป็นออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM หรือไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM ไม่ทำให้ค่าหน้ากระดาษ ความหนา ปริมาณความชื้นและน้ำหนักสารเคลือบของกระดาษเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 16 สมบัติทางกายภาพของสารเคลือบและสมบัติพื้นฐานของกระดาษกราฟท์เคลือบสารละลายสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

ทรีตเมนต์	ความหนืด (เซนติพอยต์)	ค่ากรด-ด่าง	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตร.ม)	ความหนา (มม.)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	น้ำหนักสารเคลือบ (coating weight) (กรัม/ตร.ม)
ox/sizing ¹	12 ± 0.5 ^d	9.58 ± 0.10 ^a	128.8 ± 0.4 ^a	0.180 ± 0.003 ^b	9.40 ± 0.17 ^{ab}	3.41 ± 0.06 ^a
ox/sizing/wet st ²	22 ± 0.3 ^b	6.50 ± 0.08 ^c	128.4 ± 0.5 ^a	0.182 ± 0.004 ^{ab}	9.11 ± 0.03 ^b	3.42 ± 0.40 ^a
hy/sizing ³	16 ± 0.5 ^c	8.34 ± 0.11 ^b	129.0 ± 0.9 ^a	0.180 ± 0.002 ^{ab}	9.66 ± 0.25 ^a	3.30 ± 0.45 ^a
hy/sizing/wet st ⁴	24 ± 0.2 ^a	5.95 ± 0.09 ^d	128.8 ± 0.3 ^a	0.183 ± 0.005 ^a	9.38 ± 0.07 ^{ab}	3.48 ± 0.27 ^a

^{abcd} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

² ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

³ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

⁴ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

4.3 สมบัติด้านการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดาษกราฟท์หลังเคลือบสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

ค่าการดูดซึมน้ำ ความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษกราฟท์เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก เคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก แสดงดังตารางที่ 17 พบว่า ทริตเมนต์ของสารเคลือบมีอิทธิพลต่อค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงและค่าความต้านทานแรงดันทะลุอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซึมน้ำด้านสกัดหลอด ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD และค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD

สำหรับค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงพบว่า การเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในสารเคลือบที่ประกอบไปด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชและสารกันซึม Cartacol[®] XPM ไม่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงเปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในสารเคลือบที่ประกอบไปด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชและสารกันซึม Cartacol[®] XPM แล้วจะทำให้กระดาษหลังเคลือบมีค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงเพิ่มขึ้น

สำหรับค่าความต้านทานแรงดันทะลุนั้น การเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในสารเคลือบ จะทำให้ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษหลังเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งในกรณีของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชและไฮโดรโฟบิกสตาร์ช โดยเฉลี่ยแล้วพบว่า การเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกในสารเคลือบที่ประกอบด้วยสตาร์ชตัดแปรและสารกันซึม Cartacol[®] XPM จะสามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงดันทะลุได้ร้อยละ 12.7 ถึง 18.2 อธิบายเพิ่มเติมได้ว่า เนื่องจากภายในโมเลกุลของสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกมีหมู่ azetidinium ที่มีประจุบวกสูง ซึ่งสามารถที่จะทำปฏิกิริยาจับกับประจุลบบนผิวเส้นใยได้ (Liu, 2004) ดังภาพที่ 15 พันธะที่เกิดขึ้นเป็นพันธะไอออนิกซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมาก สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกจะทำหน้าที่ยึดเส้นใยเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษสูงขึ้น

ตารางที่ 17 สมบัติการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของกระดูกพรุนหลังเคลือบด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

สารเคลือบ	การดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.)		ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลกรัม/ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร)	
	ด้านสักลมลาด	ด้านตะแกรง		ทิศ MD	ทิศ CD
ox/sizing ¹	34.8 ± 0.07 ^a	29.5 ± 0.5 ^b	4.61 ± 0.05 ^c	1.03 ± 0.02 ^a	0.85 ± 0.02 ^a
ox/sizing/wet st ²	34.1 ± 0.7 ^a	29.8 ± 0.2 ^{ab}	5.45 ± 0.05 ^a	1.01 ± 0.05 ^a	0.79 ± 0.04 ^a
hy/sizing ³	33.9 ± 0.3 ^a	29.1 ± 0.5 ^b	4.79 ± 0.04 ^b	1.08 ± 0.02 ^a	0.84 ± 0.03 ^a
hy/sizing/wet st ⁴	34.7 ± 0.07 ^a	30.7 ± 0.07 ^a	5.40 ± 0.007 ^a	1.11 ± 0.04 ^a	0.84 ± 0.02 ^a

^{ab} ตัวอักษรต่างกันในแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

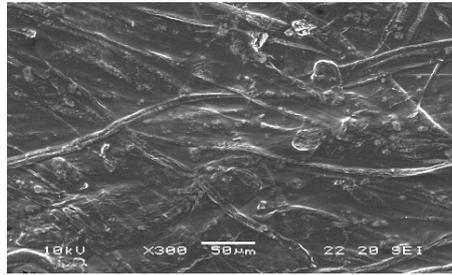
² ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

³ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

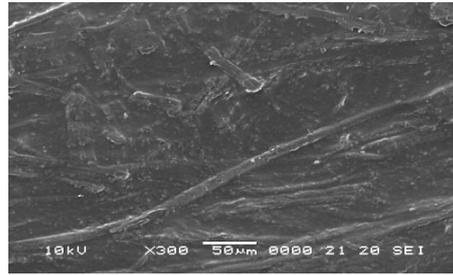
⁴ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

4.4 ลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

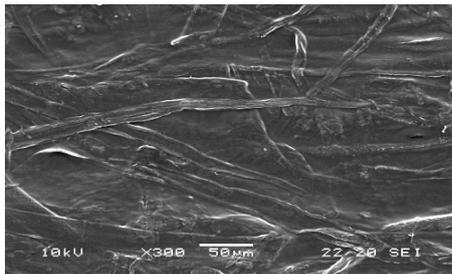
ลักษณะผิวหน้าของกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก เคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก แสดงดังภาพที่ 23 พบว่า สำหรับสารเคลือบที่มีการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปนั้น จะเห็นว่าทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นบนผิวหน้ากระดาษ ดังภาพที่ 23 (b) และ (d) และมีการจับตัวของสารเคลือบเป็นกระจุกอยู่บนเส้นใยโดยเฉพาะกระดาษที่เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก สาเหตุเกิดจากการเกิดตะกอนขึ้นในระหว่างการเตรียมสารเคลือบ เนื่องจากสารกันซึมเป็นสารที่มีประจุเป็นลบ ในขณะที่สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกเป็นสารที่มีประจุบวก เมื่อผสมสารทั้งสองเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดการจับตัวเป็นตะกอนขึ้น ซึ่งสังเกตได้ในระหว่างขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบ อย่างไรก็ตาม ฟองอากาศหรือตะกอนที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานน้ำและความแข็งแรงทางกลของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบลดลงแต่อย่างใด



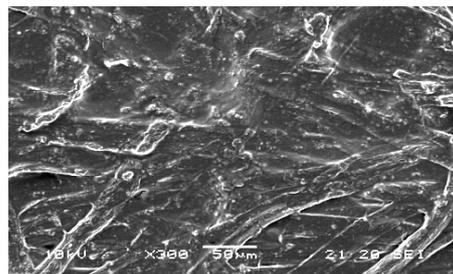
(a) ox/sizing



(b) ox/sizing/wet st



(c) hy/sizing



(d) hy/sizing/wet st

ภาพที่ 23 ลักษณะผิวหน้ากระดาษกราฟที่ขยาย 300 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM (b) เคลือบสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก (c) เคลือบสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM (d) เคลือบสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

5. ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บกระดาษเคลือบในห้องเย็นที่มีต่อสมบัติด้านความแข็งแรง

การศึกษาอิทธิพลของสภาวะห้องเย็นทำโดยนำกระดาษกราฟ 7 ทริตเมนต์ คือ กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ เคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก เคลือบด้วยสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และเคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็นที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88 ± 2 จากนั้นสุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์จนกระทั่งครบ 1 เดือน เพื่อทดสอบปริมาณความชื้นและสมบัติด้านความแข็งแรง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 18

สำหรับกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบนั้น ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีค่าร้อยละ 9.31 (ตารางที่ 18) เมื่อทำการทดสอบหาปริมาณความชื้นในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บตัวอย่างในห้องเย็นพบว่ามีการเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.40 หรือคิดเป็นร้อยละ 46.5 สำหรับกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 9.19 8.83 8.57 8.61 8.37 และ 8.44 ตามลำดับ หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 49.1 48.6 53.2 52.1 50.8 และ 52.6 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่ทั้งที่ไม่ผ่านการเคลือบและเคลือบด้วยสารเคลือบต่างๆ ดังภาพที่ 24 พบว่า ปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่ทุกทริตเมนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทันทีหลังเก็บไว้ในห้องเย็น เนื่องจากความแตกต่างของสภาวะบรรยากาศภายนอกห้องเย็นและภายในห้องเย็น สภาวะบรรยากาศภายในห้องเย็นมีความชื้นสัมพัทธ์สูงถึงร้อยละ 88 ± 2 ในขณะที่ภายนอกห้องเย็นมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65 ± 2 ปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่เริ่มต้นมีค่าอยู่ประมาณร้อยละ 8.44 - 9.31 ทำให้กระดาษเกิดการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศภายในห้องเย็นอย่างรวดเร็วและมีผลทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มสูงขึ้น หลังจากเก็บตัวอย่างไว้ในห้องเย็นต่อไปเมื่อปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่เริ่มเข้าสู่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเย็นทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่

ตารางที่ 18 สมบัติของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบสสารชนิดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกภายหลังเก็บในห้องเย็น

สัปดาห์ ที่	สารเคลือบ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความต้านทาน แรงฉีกทะลุ (กิโลกรัม/ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร)	
				ทิส MD	ทิส CD
0	uncoated ¹	9.31 ± 0.064 ^l	4.35 ± 0.01 ^d	1.02 ± 0.03 ^{cd}	0.81 ± 0.03 ^a
	ox ²	9.21 ± 0.028 ^l	4.67 ± 0.03 ^c	1.02 ± 0.07 ^{cd}	0.75 ± 0.01 ^b
	ox/sizing ³	8.84 ± 0.078 ^m	4.65 ± 0.07 ^c	1.03 ± 0.02 ^{bcd}	0.80 ± 0.02 ^a
	ox/sizing/wet st ⁴	8.60 ± 0.042 ^{no}	5.25 ± 0.06 ^a	1.00 ± 0.02 ^d	0.73 ± 0.01 ^b
	hy ⁵	8.67 ± 0.078 ^{mn}	4.86 ± 0.05 ^b	1.06 ± 0.01 ^a	0.74 ± 0.02 ^b
	hy/sizing ⁶	8.44 ± 0.092 ^o	4.84 ± 0.08 ^b	1.05 ± 0.02 ^{abc}	0.82 ± 0.03 ^a
	hy/sizing/wet st ⁷	8.57 ± 0.180 ^{no}	5.19 ± 0.02 ^a	1.06 ± 0.07 ^{ab}	0.82 ± 0.00 ^a
1	uncoated	17.85 ± 0.014 ^c	3.69 ± 0.02 ^l	0.50 ± 0.02 ^{ij}	0.42 ± 0.07 ^{fg}
	ox	17.82 ± 0.071 ^c	3.90 ± 0.03 ^{ijk}	0.56 ± 0.03 ^{efg}	0.42 ± 0.00 ^{ef}
	ox/sizing	17.08 ± 0.110 ^j	3.91 ± 0.04 ^{ijk}	0.58 ± 0.07 ^{ef}	0.46 ± 0.07 ^d
	ox/sizing/wet st	17.84 ± 0.064 ^c	4.15 ± 0.007 ^e	0.58 ± 0.03 ^{ef}	0.49 ± 0.04 ^c
	hy	19.79 ± 0.014 ^a	3.89 ± 0.02 ^{ijk}	0.49 ± 0.01 ^j	0.45 ± 0.02 ^{de}
	hy/sizing	18.93 ± 0.028 ^b	3.88 ± 0.007 ^{ijk}	0.52 ± 0.01 ^{hij}	0.41 ± 0.01 ^{fgh}
	hy/sizing/wet st	17.50 ± 0.071 ^{gh}	4.06 ± 0.02 ^{gh}	0.59 ± 0.07 ^e	0.42 ± 0.00 ^{ef}
2	uncoated	17.38 ± 0.078 ^{hi}	3.65 ± 0.04 ^l	0.51 ± 0.07 ^{ij}	0.40 ± 0.01 ^{fghi}
	ox	17.20 ± 0.042 ^{ij}	3.92 ± 0.04 ^{ij}	0.56 ± 0.03 ^{ef}	0.41 ± 0.00 ^{fgh}
	ox/sizing	16.87 ± 0.180 ^k	4.09 ± 0.01 ^{efgh}	0.57 ± 0.07 ^{ef}	0.40 ± 0.01 ^{fghi}
	ox/sizing/wet st	18.37 ± 0.064 ^c	4.17 ± 0.05 ^e	0.57 ± 0.01 ^{ef}	0.39 ± 0.07 ^{ghijk}
	hy	19.01 ± 0.120 ^b	3.93 ± 0.01 ^{ij}	0.58 ± 0.02 ^{ef}	0.37 ± 0.07 ^{ijklm}
	hy/sizing	18.11 ± 0.150 ^d	3.94 ± 0.04 ⁱ	0.51 ± 0.01 ^{hij}	0.38 ± 0.07 ^{ijklm}
	hy/sizing/wet st	17.73 ± 0.130 ^{ef}	4.12 ± 0.05 ^{efgh}	0.52 ± 0.00 ^{hij}	0.37 ± 0.07 ^{ijklm}

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	สารเคลือบ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ความต้านทาน แรงดันทะลุ (กิโลกรัม/ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร)	
				ทิส MD	ทิส CD
3	uncoated	18.53 ± 0.050 ^c	3.54 ± 0.06 ^m	0.52 ± 0.07 ^{hij}	0.36 ± 0.07 ^{klm}
	ox	18.53 ± 0.042 ^c	3.90 ± 0.04 ^{ijk}	0.55 ± 0.07 ^{fgh}	0.40 ± 0.07 ^{fghij}
	ox/sizing	17.72 ± 0.110 ^{ef}	3.85 ± 0.00 ^{jk}	0.53 ± 0.01 ^{ghi}	0.38 ± 0.00 ^{hijkl}
	ox/sizing/wet st	17.61 ± 0.110 ^{fg}	4.04 ± 0.01 ^h	0.51 ± 0.07 ^{ij}	0.39 ± 0.07 ^{ghijk}
	hy	18.95 ± 0.085 ^b	3.90 ± 0.03 ^{ijk}	0.52 ± 0.01 ^{hij}	0.37 ± 0.00 ^{ijklm}
	hy/sizing	18.85 ± 0.078 ^b	3.89 ± 0.00 ^{ijk}	0.53 ± 0.07 ^{hij}	0.37 ± 0.07 ^{ijklm}
	hy/sizing/wet st	18.17 ± 0.085 ^d	4.13 ± 0.03 ^{efg}	0.55 ± 0.07 ^{fgh}	0.37 ± 0.07 ^{ijklm}
4	uncoated	17.40 ± 0.130 ^h	3.30 ± 0.03 ⁿ	0.43 ± 0.01 ^k	0.35 ± 0.07 ^m
	ox	18.10 ± 0.078 ^d	3.84 ± 0.04 ^k	0.49 ± 0.00 ^j	0.35 ± 0.07 ^m
	ox/sizing	17.19 ± 0.092 ^j	3.92 ± 0.007 ^{ijk}	0.52 ± 0.07 ^{hij}	0.36 ± 0.07 ^{klm}
	ox/sizing/wet st	18.39 ± 0.021 ^c	4.06 ± 0.07 ^{fgh}	0.52 ± 0.00 ^{hij}	0.38 ± 0.07 ^{ijklm}
	hy	18.09 ± 0.050 ^d	3.90 ± 0.01 ^{ijk}	0.52 ± 0.07 ^{hij}	0.37 ± 0.07 ^{ijklm}
	hy/sizing	17.15 ± 0.099 ^j	3.90 ± 0.007 ^{ijk}	0.51 ± 0.07 ^{ij}	0.35 ± 0.0 ^{lm}
	hy/sizing/wet st	18.07 ± 0.042 ^d	4.14 ± 0.02 ^{ef}	0.51 ± 0.07 ^{ij}	0.37 ± 0.1 ^{ijklm}

^{a-n} ตัวอักษรต่างกันแถวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

¹ กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ

² ออกซิไคซ์สตาร์ช

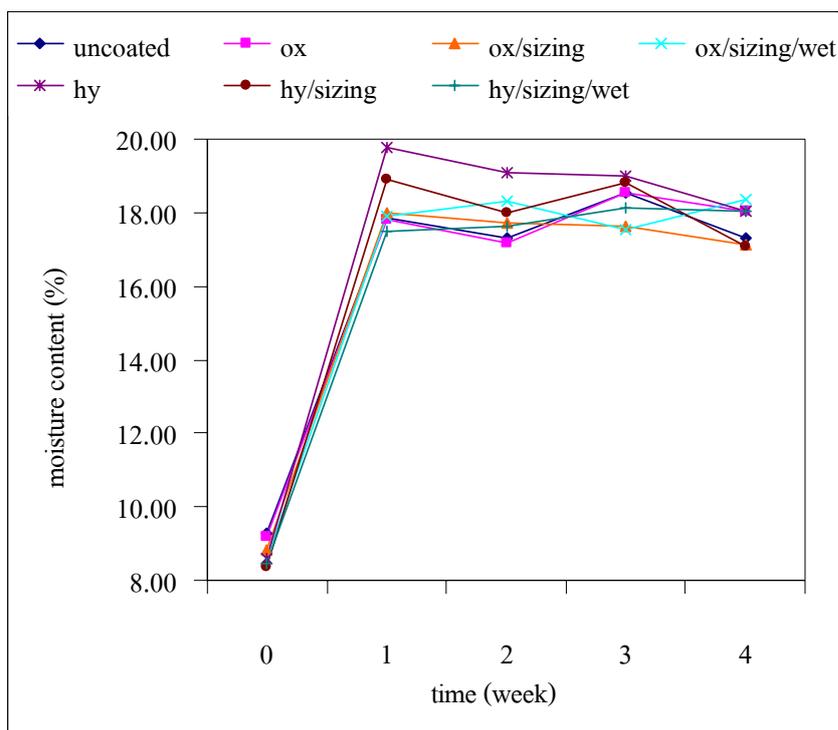
³ ออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM

⁴ ออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก

⁵ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

⁶ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM

⁷ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก



ภาพที่ 24 ปริมาณความชื้นของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น

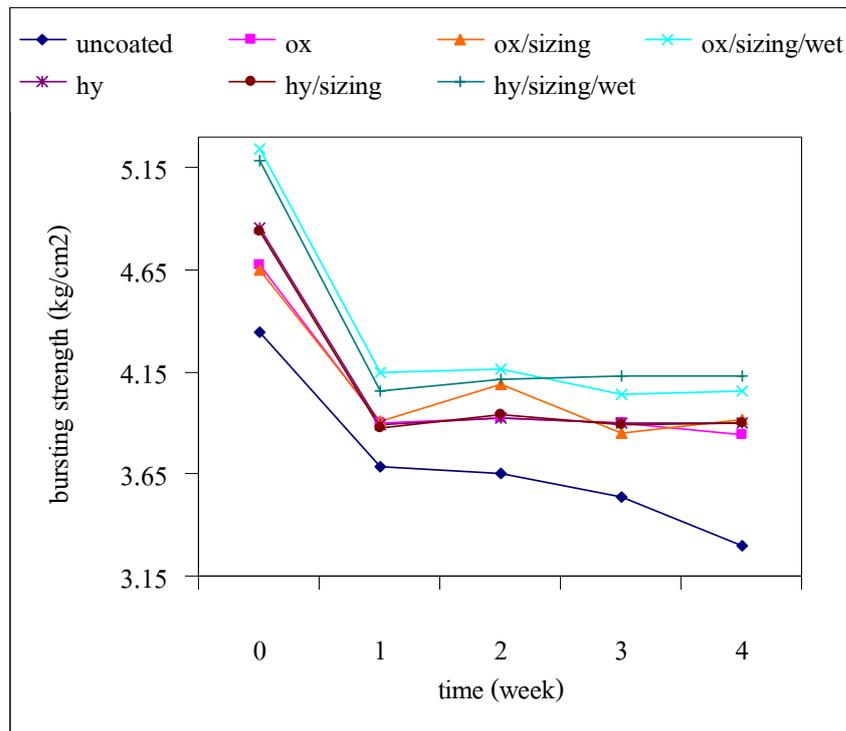
การที่กระดาษกราฟแต่ละชนิดมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นนั้น มีผลทำให้ความแข็งแรงเชิงกล เช่น ค่าความต้านทานแรงดึงหรือค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน มีค่าลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ่านการเคลือบด้วยวิธีแตกต่างกัน อาจแตกต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่กระดาษดูดซึมเข้าไปมีค่าไม่เท่ากัน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความสามารถในการดูดคายความชื้นของกระดาษกราฟในแต่ละชนิดด้วย

สำหรับค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบนั้น มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4.27 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 18) หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบลดลงเหลือ 3.30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือลดลงร้อยละ 24.1 สำหรับกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับ

สารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก มีความต้านทานแรงดันทะเล เริ่มต้นเท่ากับ 4.67 4.65 5.25 4.86 4.84 และ 5.19 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษคราฟท์ที่มีค่าลดลงร้อยละ 17.8 15.7 22.7 19.8 19.4 และ 20.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ร้อยละของการลดลงของค่าความต้านทานแรงดันทะเลเรียงจากมากไปน้อย คือ 1) กระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบ 2) เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก 3) เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก 4) เคลือบด้วย ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช 5) เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM 6) เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ช และ 7) เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM

เมื่อพิจารณาที่แนวโน้มการลดลงของค่าความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษคราฟท์ก่อนและหลังเคลือบ (ภาพที่ 25) พบว่า ภายหลังจากเก็บตัวอย่างกระดาษคราฟท์ไว้ในห้องเย็น ค่าความต้านทานแรงดันทะเลของตัวอย่างทุกชนิดมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรก หลังจากผ่านสัปดาห์ที่ 1 ไปแล้ว ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบทุกชนิดมีแนวโน้มคงที่ แต่สำหรับกระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบนั้นพบว่า ค่าความต้านทานแรงดันทะเลค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง และสำหรับกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบทุกชนิดจะมีค่าความต้านทานแรงดันทะเลสูงกว่ากระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบตลอดระยะเวลาในการเก็บ

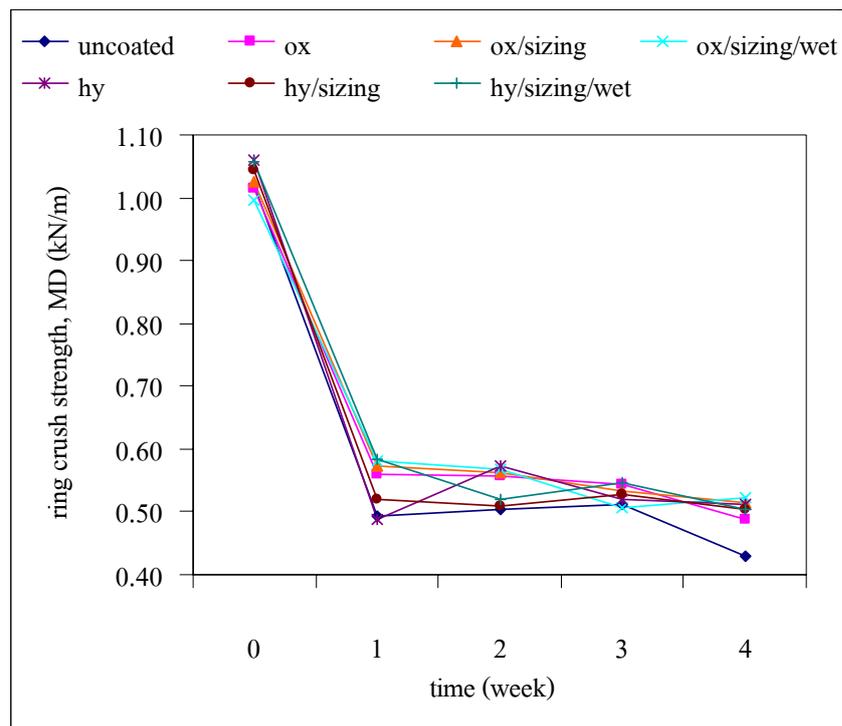
สำหรับชนิดที่มีการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกเข้ามาเป็นส่วนผสมของสารเคลือบร่วมกับสตาร์ชดัดแปรและสารกันซึม นั้นพบว่า มีค่าความต้านทานแรงดันทะเลสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บในห้องเย็นซึ่งแตกต่างจากชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกนั้นจะช่วยเพิ่มและรักษาความแข็งแรงของกระดาษหลังเคลือบไว้ได้ เนื่องจากสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกซึ่งมีองค์ประกอบเป็นพอลิเอไมด์ อีพิกลอร์ไฮไดรอนนั้น จะทำหน้าที่เป็นเหมือนกาวช่วยยึดเส้นใยเข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ยังสามารถเกิดกลไกการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของสารด้วยตัวเองได้เป็น โครงสร้างแบบร่างแห (cross-linking) ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่ง Devore and Fischer (1993) แนะนำว่าโครงสร้างแบบร่างแหนี้จะเกิดขึ้นได้ 2 ตำแหน่งคือ ภายในเซลล์ลูโลสและเกิดล้อมรอบพันธะระหว่างเซลล์ลูโลสกับเซลล์ลูโลส ซึ่งมีส่วนสำคัญในการช่วยขัดขวางการบวมของเส้นใยเมื่อสัมผัสกับน้ำได้



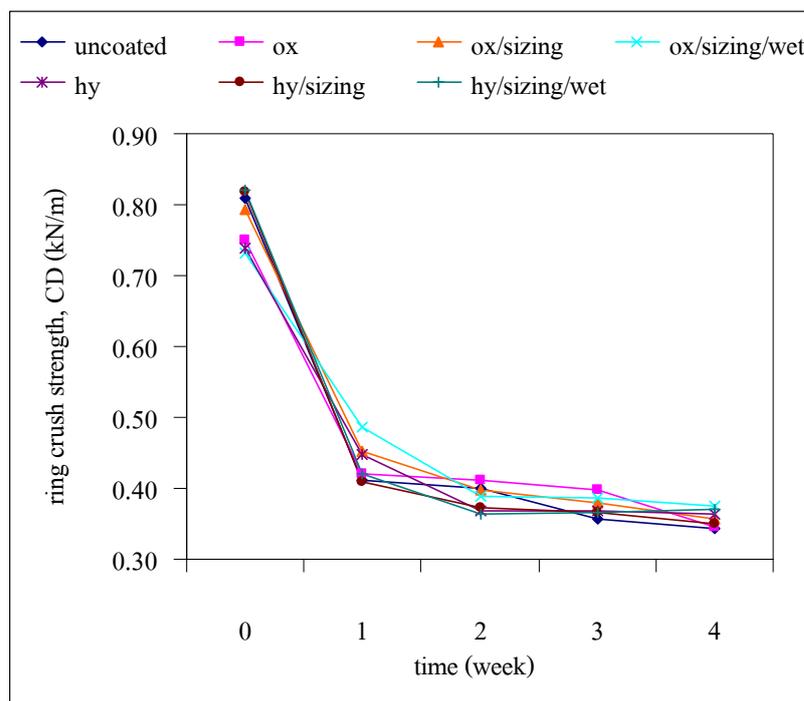
ภาพที่ 25 ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น

ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD ของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.02 กิโลนิวตันต่อเมตร (ตารางที่ 18) หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD ของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบลดลงเหลือ 0.43 กิโลนิวตันต่อเมตร หรือลดลงร้อยละ 57.8 สำหรับกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลาย ออกซิไดซ์สตาร์ช ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก มีความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD เริ่มต้นเท่ากับ 1.02 1.03 1.00 1.06 1.05 และ 1.06 กิโลนิวตันต่อเมตรตามลำดับ หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD มีค่าลดลงร้อยละ 52.0 49.5 48.0 50.9 51.4 และ 51.9 ตามลำดับ

ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ CD ของกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบนั้น มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.81 กิโลนิวตันต่อเมตร (ตารางที่ 18) หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ CD ของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบลดลงเหลือ 0.35 กิโลนิวตันต่อเมตร หรือลดลงร้อยละ 56.8 สำหรับกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารละลาย ออกซิไดซ์สตาร์ช ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM ออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol® XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก มีความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ CD เริ่มต้นเท่ากับ 0.75 0.80 0.73 0.74 0.82 และ 0.82 กิโลนิวตันต่อเมตรตามลำดับ หลังเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะห้องเย็นเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ CD ของกระดาษกราฟที่หลังเคลือบมีค่าลดลงร้อยละ 53.3 55.0 47.9 50.0 57.3 และ 54.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 26 ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ทิศ MD) ของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น



ภาพที่ 27 ความต้านทานแรงกดวงแหวน (ทิส CD) ของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบเมื่อเก็บภายใต้สภาวะห้องเย็น

ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บตัวอย่างกระดาษในสภาวะห้องเย็น จะเห็นว่าเมื่อนำกระดาษกราฟที่เก็บไว้ในสภาวะห้องเย็น กระดาษจะมีการดูดซึมน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรกของการเก็บมีผลทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มขึ้น และความแข็งแรงเชิงกลลดลง การเคลือบกระดาษกราฟที่ด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปร สตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกช่วยรักษาค่าความต้านทานแรงดันทะลุได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ โดยมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุสูงกว่ากระดาษไม่เคลือบตลอดระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ โดยเฉพาะเมื่อมีการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในองค์ประกอบสารเคลือบมีผลทำให้กระดาษมีความต้านทานแรงดันทะลุสูงสุดตลอดเวลา 4 สัปดาห์ของการทดลอง สำหรับค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD ของกระดาษไม่เคลือบและเคลือบด้วยทรีตเมนต์ต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ที่สัปดาห์ที่ 4 กระดาษที่ผ่านการเคลือบทุกทรีตเมนต์มีความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD สูงกว่ากระดาษไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และสำหรับค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD พบว่าการเคลือบกระดาษกราฟที่ด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปร สตาร์ชตัดแปร

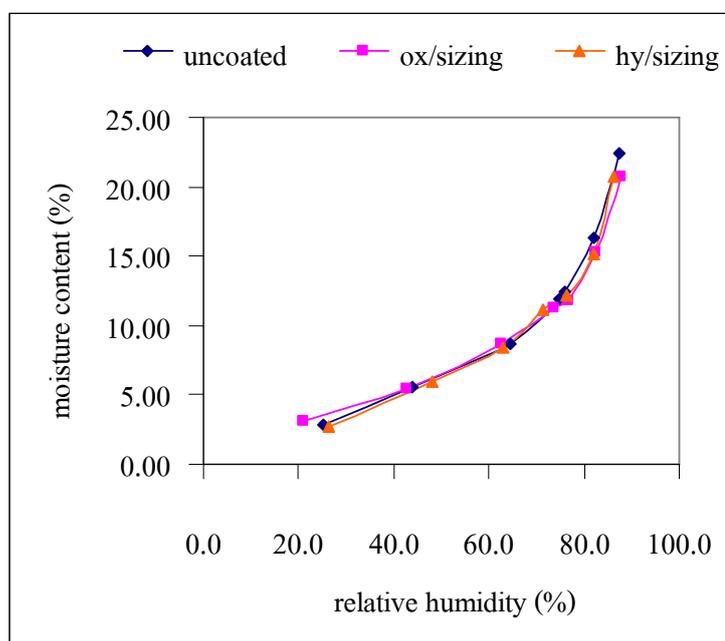
ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM หรือสตาร์ชตัดแปรร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกยังไม่สามารถส่งผลในการเพิ่มความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD ได้ตลอดอายุการเก็บ การเคลือบทำให้ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD ของกระดาษคราฟท์มีค่าสูงกว่ากระดาษคราฟท์ไม่เคลือบ มีสาเหตุมาจากการที่สารเคลือบมาเกาะอยู่บนเส้นใย ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้นและช่องว่างต่างๆ ภายในโครงสร้างกระดาษถูกเติมเต็มด้วยสารเคลือบ แต่สำหรับความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD นั้นเนื่องจากเป็นด้านที่เส้นใยไม่ได้เรียงตัวในลักษณะที่จะสามารถช่วยในการรับแรงได้ ดังนั้นการที่เส้นใยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจึงไม่ได้มีส่วนช่วยให้ความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD เพิ่มขึ้น ความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส CD ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบและไม่เคลือบจึงใกล้เคียงกันและมีค่าน้อยกว่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิส MD

6. ลักษณะการดูดคายความชื้น (moisture sorption isotherm) ของกระดาษคราฟท์

การศึกษาลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษคราฟท์เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากปริมาณความชื้นในกระดาษมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของกระดาษ ดังนั้นการใช้งานกระดาษคราฟท์สำหรับเป็นภาชนะในการบรรจุสินค้าโดยเฉพาะสินค้าที่มีความชื้นสูงหรือต้องขนส่งอยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูง เช่น ผัก ผลไม้และอาหารสด จึงจำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมการดูดความชื้นเมื่อกระดาษนั้นจะต้องไปอยู่ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูง โดยจะทำการศึกษาลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบ กระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายไฮโดร โฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM ที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ลักษณะกราฟของการดูดความชื้นของกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบและไม่เคลือบแสดงดังภาพที่ 28

จากภาพที่ 28 ลักษณะของกราฟแสดงการดูดความชื้น (adsorption isotherm) ของกระดาษคราฟท์ไม่เคลือบ เคลือบด้วยออกซิไคซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และเคลือบด้วยไฮโดร โฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นรูปตัวเอส (sigmoid shape) ซึ่งเป็นลักษณะกราฟแสดงการดูดความชื้นของวัสดุประเภทที่มาจากธรรมชาติ (Blahovec, 2004 และ Brandon, 1983) โดยลักษณะกราฟแบบนี้เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับกราฟแสดงการดูดความชื้นของกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Dury-Brun *et al.*, 2006) และกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการทำให้อิมตัวด้วยสตาร์ชอะซิเตด (Larotonda *et al.*,

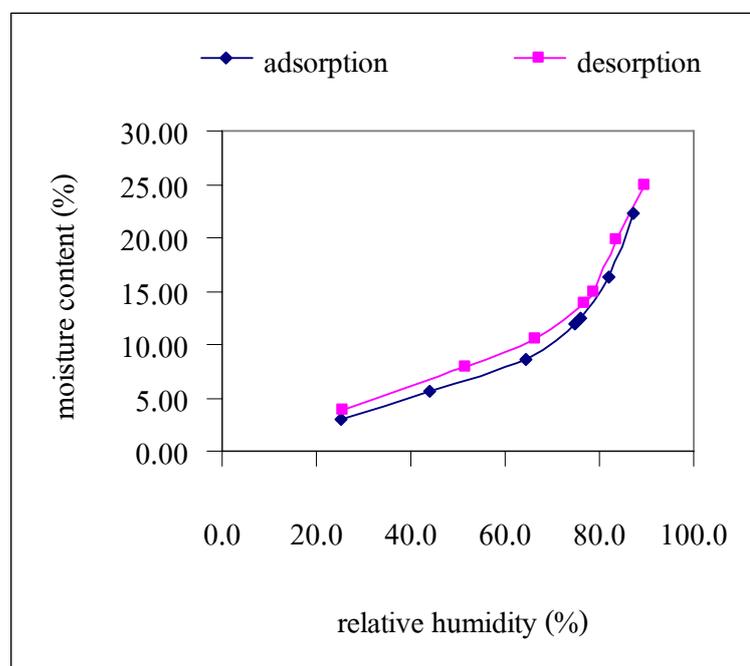
2005) สำหรับในภาพที่ 28 นี้ ในช่วงแรกของกราฟเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง ร้อยละ 76 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีผลทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงเกินร้อยละ 76 ไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าในการใช้งานกระดาษกราฟที่ชนิดนี้ไม่ควรนำไปใช้ในสภาวะที่มีความชื้นสูงเกิน ร้อยละ 76 และเมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าประมาณร้อยละ 87 ปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และเคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีค่าเท่ากับร้อยละ 22.25 ร้อยละ 20.70 และร้อยละ 20.71 ตามลำดับ จะเห็นว่าที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากัน แต่ปริมาณความชื้นในกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบมีค่าสูงที่สุด แสดงว่ากระดาษกราฟที่ไม่เคลือบมีการดูดซึมน้ำมากกว่ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิก สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM



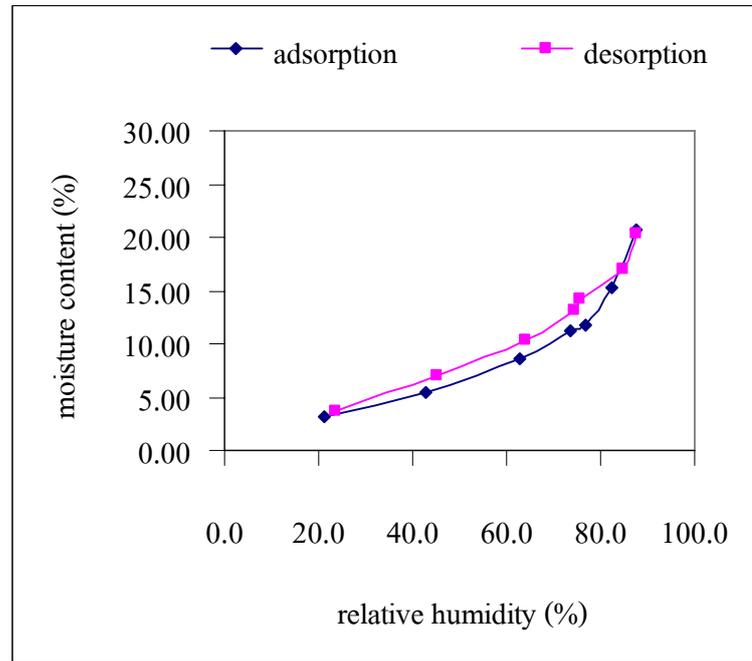
ภาพที่ 28 ลักษณะการดูดความชื้นของกระดาษกราฟที่ก่อนและหลังเคลือบ

เมื่อพิจารณาลักษณะการดูดและคายความชื้นแยกตามประเภทของกระดาษ พบว่า กราฟของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ เคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และ

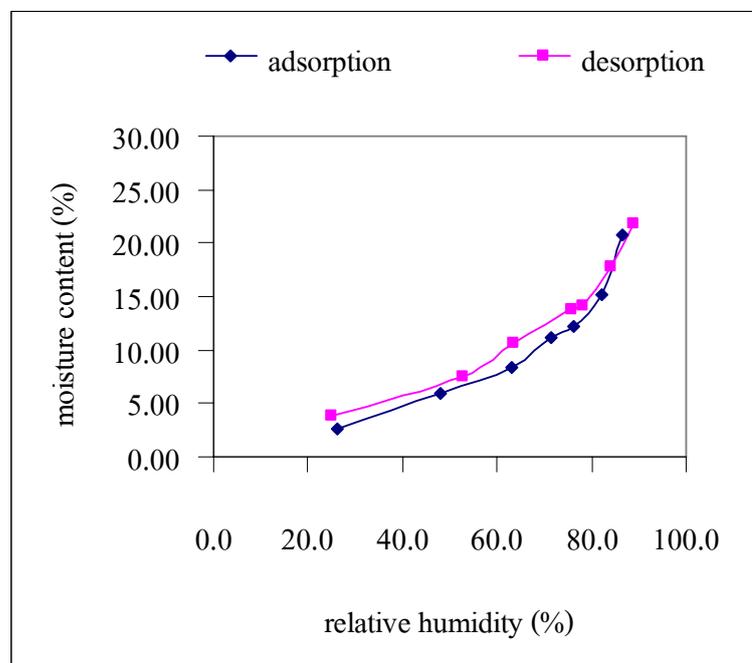
เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM มีลักษณะใกล้เคียงกันดังภาพที่ 29 ภาพที่ 30 และภาพที่ 31 ตามลำดับ สามารถอธิบายลักษณะของกราฟได้คือ เมื่อมีการนำกระดาษไปไว้ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง กระดาษจะมีการดูดความชื้นจากบรรยากาศทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษค่อยๆ สูงขึ้นตามลักษณะของเส้นกราฟการดูดความชื้น (adsorption) หลังจากนั้น หากมีการนำกระดาษนั้นไปวางไว้ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง กระดาษจะคายความชื้นออกทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษลดต่ำลงตามเส้นกราฟการคายความชื้น (desorption) ซึ่งจะเห็นว่าเส้นกราฟของการดูดและคายความชื้นของกระดาษจะไม่เป็นเส้นเดียวกัน เนื่องจากว่าปริมาณน้ำที่กระดาษมีการดูดเข้าไปและคายออกมานั้นไม่เท่ากัน เส้นกราฟการคายความชื้นแสดงอยู่ด้านบนของเส้นกราฟการดูดความชื้น แสดงให้เห็นว่ากระดาษที่เคยอยู่ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงแล้ว ถึงแม้ว่าจะนำกลับมาวางไว้ในที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแล้วก็ตาม แต่ปริมาณความชื้นในกระดาษจะเพิ่มสูงกว่าเดิม ตัวอย่างเช่น กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 จะมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 8.66 เมื่อนำไปวางในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 87 หลังจากนั้นนำกลับมาวางไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65 ตามเดิม ปริมาณความชื้นในกระดาษที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.4 เป็นต้น



ภาพที่ 29 ลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ



ภาพที่ 30 ลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบออกซิไดซ์สตาร์ร่วมกับสารกั้นซึม Cartacol[®] XPM



ภาพที่ 31 ลักษณะการดูดและคายความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ร่วมกับสารกั้นซึม Cartacol[®] XPM

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเคลือบกระดาดกราฟท์ด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาดกราฟท์สำหรับนำไปใช้งานในสภาวะห้องเย็น พบว่า กระดาดกราฟท์หลังเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาร์ชหรือไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึมจะมีการดูดซึมน้ำลดลง และมีความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำไปเก็บไว้ในสภาวะห้องเย็นจะสามารถรักษาความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงกดวงแหวนได้มากกว่ากระดาดกราฟท์ที่ไม่เคลือบ โดยสามารถสรุปประเด็นสำคัญจากการทดลองได้ดังนี้

1. การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเคลือบกระดาดกราฟท์ด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรและปริมาณสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาดกราฟท์ ในการทดลองใช้สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึมประเภท Styrene-acrylic emulsion 3 ชนิด ได้แก่ Baysize[®] BMP Baysize[®] AGP และ Cartacol[®] XPM พบว่า ลักษณะผิวหน้าของกระดาดกราฟท์ที่ผ่านการเคลือบทุกชนิดมีลักษณะเรียบขึ้น มองเห็นเส้นใยลดลง และมีความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองเพิ่มเติมพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชทำให้กระดาดมีการดูดซึมน้ำและความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่ส่งผลที่ชัดเจนต่อความต้านทานแรงกดวงแหวน ส่วนปริมาณสารกันซึมทั้ง 3 ชนิด คือ Baysize[®] BMP Baysize[®] AGP หรือ Cartacol[®] XPM พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกันในสารกันซึมแต่ละชนิดเมื่อใช้ร่วมกับความเข้มข้นของออกซิไดซ์สตาร์ชที่ระดับต่างๆ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารกันซึมทั้ง 3 ชนิดไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงกดวงแหวนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2. การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเคลือบกระดาดกราฟท์ด้วยสารละลายสตาร์ชตัดแปรต่างชนิดร่วมกับสารกันซึมต่อสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและสมบัติด้านความแข็งแรงเชิงกล โดยสารละลายสตาร์ชตัดแปรที่เลือกใช้สำหรับการทดลองคือ ออกซิไดซ์สตาร์ชและไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก) และสารกันซึมที่ใช้ในการทดลอง คือ Cartacol[®] XPM ที่ปริมาณร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักสารละลายสตาร์ช) ผลพบว่า การเคลือบด้วยสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชโดยไม่เติมสารกันซึมทำให้กระดาดมีความต้านทานน้ำและความต้านทานแรงดันทะลุสูง

กว่าการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชโดยไม่เติมสารกันซึมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการเคลือบด้วยสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM จะทำให้กระดาษมีความต้านทานน้ำและความต้านทานแรงดันทะลุสูงกว่าการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลของการเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM นั้นพบว่า เมื่อเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM ลงในสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช การดูดซึมน้ำของกระดาษจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM ลงในสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ช การดูดซึมน้ำของกระดาษจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่สารกันซึมไปขัดขวางการยึดติดกับผิวหน้ากระดาษระหว่างไฮโดรโฟบิกสตาร์ชกับเส้นใยเป็นผลให้กระดาษดูดซึมน้ำได้มากกว่ากรณีไม่เติมสารกันซึม ทั้งนี้การเติมสารกันซึม Cartacol[®] XPM ลงในสารละลายสตาร์ชทั้งออกซิไดซ์สตาร์ชและไฮโดรโฟบิกสตาร์ชนั้นไม่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงกดวงแหวน

เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษกราฟที่ไม่ผ่านการเคลือบและกระดาษที่ผ่านการเคลือบทุกชนิดได้แก่ การเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ช สารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชและสารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM พบว่า สามารถช่วยลดการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสักหลาดได้ร้อยละ 9.7 10.8 17.7 และ 13.1 ตามลำดับ ช่วยลดการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านตะแกรงได้ร้อยละ 14.8 12.7 15.1 และ 13.9 ตามลำดับ และสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดันทะลุได้ร้อยละ 9.0 7.9 11.7 และ 11.7 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษที่ผ่านการเคลือบทุกชนิดและกระดาษที่ไม่เคลือบมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. การศึกษาอิทธิพลของการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในสารเคลือบ 2 ประเภท ได้แก่ สารเคลือบที่มีองค์ประกอบเป็นออกซิไดซ์สตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเคลือบที่มีองค์ประกอบเป็นไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM พบว่า การเติมสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกลงไปในสารเคลือบทั้ง 2 ประเภทนั้น ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดซึมน้ำด้านสักหลาดและความต้านทานแรงกดวงแหวนแต่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงและความต้านทานแรงดันทะลุ โดยสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกจะทำให้กระดาษมีค่าการดูดซึมน้ำด้านตะแกรงและค่าความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4. การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บกระดาษคราฟท์ทั้งที่ไม่ผ่านการเคลือบและผ่านการเคลือบในห้องเย็นที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88 ± 2 พบว่า กระดาษคราฟท์ทุกชนิดมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดันตะลุและความต้านทานแรงกดวงแหวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง เมื่อพิจารณาในสัปดาห์ที่ 4 กระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบมีค่าความต้านทานแรงดันตะลุสูงกว่ากระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบร้อยละ 14.1 – 20.2 โดยชนิดที่ที่มีความต้านทานแรงดันตะลุสูงที่สุดคือ การเคลือบด้วยออกซิไดซ์หรือไฮโดรโฟบิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก ส่วนค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบมีค่าสูงกว่ากระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบร้อยละ 12.2 – 17.3 ในทิส MD และร้อยละ 0 – 7.9 ในทิส CD โดยทุกชนิดที่ผ่านการเคลือบนั้น ค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนทั้งในทิส MD และ CD ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. การศึกษาลักษณะการดูดและคายความชื้นในห้องเย็น ($13 \pm 1^{\circ}\text{C}$) ของกระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบและกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยออกซิไดซ์สตาบิลไรเซอร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM และไฮโดรโฟบิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM พบว่า ลักษณะของกราฟเป็นรูปตัวเอส (sigmoid shape) ซึ่งเป็นลักษณะกราฟของวัสดุที่มีการดูดความชื้นสูง และจุดที่ทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วคือในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 76 อย่างไรก็ตามในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศตั้งแต่ร้อยละ 74 ถึงร้อยละ 87 ปริมาณความชื้นในกระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบมีค่าสูงกว่ากระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบ แสดงว่ากระดาษคราฟท์ที่ไม่เคลือบมีการดูดซึมน้ำมากกว่ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาบิลไรเซอร์หรือไฮโดรโฟบิกสตาบิลไรเซอร์ร่วมกับสารกันซึม Cartacol[®] XPM

ข้อเสนอแนะ

1. การเคลือบกระดาษกราฟที่เพื่อให้มีการดูดซึมน้ำลดลงและสามารถรักษาความแข็งแรงเชิงกลไว้ได้เมื่อนำไปใช้งานในสภาวะห้องเย็นนั้น สามารถทำได้โดยใช้สารเคลือบที่ประกอบไปด้วยสารละลายออกซิไดซ์สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก) สารกันซึม Cartacol® XPM ปริมาตรร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักสารละลายสตาร์ช) และสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกปริมาณร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักสารละลายสตาร์ช)

2. จากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านตะแกรงของกระดาษไม่เคลือบพบทั้งค่าที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสั๊กหลอด เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอที่ผิวกระดาษด้านตะแกรงสังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านตะแกรงซึ่งมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อหาค่าเฉลี่ยรวมแล้วทำให้การดูดซึมน้ำที่ด้านตะแกรงมีค่าต่ำกว่าที่ด้านสั๊กหลอด เมื่อทำการเคลือบแล้วพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวด้านสั๊กหลอดซึ่งเป็นด้านที่ผ่านการเคลือบนั้น มีร้อยละของการลดลงของค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าที่ผิวด้านตะแกรง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจาก การที่ในสารเคลือบนั้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก หลังจากเคลือบกระดาษแล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทำให้การระเหยของน้ำออกไปได้ช้า เป็นสาเหตุให้ปริมาณของน้ำส่วนหนึ่งซึมลงไปใ้เนื้อกระดาษแล้วทำให้เส้นใยเกิดการบวม ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยเปลี่ยนวิธีการทำแห้งกระดาษให้เร็วขึ้น เช่น ใช้ความร้อน เป็นต้น

3. จากการทดลองพบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 76 ปริมาณความชื้นในกระดาษจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษได้ และเนื่องจากในสภาวะห้องเย็นนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 85 จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อพัฒนากระดาษกราฟให้สามารถใช้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นได้ เช่น ศึกษาสารเคลือบชนิดอื่นหรือใช้เครื่องเคลือบที่สามารถปรับตั้งแรงดันของลูกกลิ้งที่ใช้ในการเคลือบได้ เป็นต้น

4. จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชและปริมาณของสารกันซึมระดับต่ำมีความเหมาะสมมากกว่าระดับสูง ดังนั้นหากมีการทดลองเพิ่มเติมโดยปรับลดระดับความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชและปริมาณของสารกันซึมลง อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิตกระดาษ

5. กระจกเป็นวัสดุที่ไวต่อความชื้น และปริมาณความชื้นมีผลต่อความแข็งแรงของกระจก ดังนั้นควรเก็บตัวอย่างกระจกทั้งก่อนเคลือบและหลังเคลือบให้มีดัชนีก่อนนำไปทดลอง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง และในการทดลองแต่ละครั้งควรใช้กระจกที่ผลิตใหม่ สำหรับการทดสอบ นอกจากนี้ควรทำการทดสอบตัวอย่างควบคุม (กระจกไม่เคลือบ) ควบคู่ไปกับการทดสอบกระจกหลังเคลือบด้วยทุกครั้ง เนื่องจากค่าทดสอบของกระจกไม่เคลือบอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาของการทดลอง ดังจะเห็นได้จากปริมาณความชื้นในกระจกช่วงสุดท้ายของการทดลองจะมีค่าสูงกว่าในช่วงแรกของการทดลอง

6. จากภาพรวมของการทดลองพบว่า วิธีการเคลือบกระจกกราฟท์ด้วยสตาบิลไรซ์ดัดแปรร่วมกับสารกันชื้นนี้ สามารถประยุกต์ได้สำหรับขั้นตอนการผลิตกระจกกราฟท์ทำผิวกล่องและผลิตแผ่นลูกฟูก เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความสามารถในการต้านทานน้ำและเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลให้กับกระจกกราฟท์และกล่องกระจกฟูกได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธารทิพย์ หังสพฤกษ์. 2544. การพัฒนาฟิล์มบรีโอคได้จากแป้งบุกและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีชา พหลเทพ. 2535. พอลิเมอร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ. 423 น.
- พรพรรณ จันทร์ไตร. 2543. การปรับปรุงสมบัติความคงทนต่อการดูดซับน้ำของฟิล์มบรีโอคได้จากแป้งมันสำปะหลังและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วริทธิ์ชัย วัชรประภา. 2548. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อกระดาษคราฟท์เพื่อทำกล่องลูกฟูก. การศึกษาค้นคว้าอิสระ. มหาลัยวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมหวัง จันทยานุวงศ์. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาโครงสร้างและสมบัติของกระดาษ. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (อัดสำเนา)
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งคัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. มอก. 1073-2535.
- อรสิริ เสมรสุด. 2545. การพัฒนากระดาษสาเพื่อการพิมพ์และการนำไปใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัญชลี กมลรัตนกุล, ไพศาล อนันต์นุกูล, อมรรัตน์ สวัสดิ์พิพัฒน์ และมยุรี ภาคลำเจียก. 2545. คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 2538. การตัดแปรกระดาษในแป้งมันสำปะหลังและข้าวด้วยวิธีแอซีทิลเลชัน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุดมลักษณ์ สุขอิตตะ. 2545. การพัฒนากระดาษฟางข้าวเคลือบน้ำมันพลูเพื่อยืดอายุการเก็บ
ทุเรียนกวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ASTM. 2001. Standard Practice for Conditioning Containers, Packages, or Packaging
Components for Testing ASTM D 4332-89. **Standards and Other Documents Related
to Performance Testing of Shipping Containers** 3rd edition: 12-13.

ASTM International. 2004a. Standard Practice for Conditioning Paper and Paper Products
Testing ASTM D 685-93 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09:
45-47.

_____. 2004b. Standard Test Methods for Bursting Strength of Paper. ASTM D 774/D 774M-
97 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 78-81.

_____. 2004c. Standard Test Methods for Grammage of Paper and Paperboard (Mass Per Unit
Area). ASTM D 646-96 (Reapproved 2001). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09:
40-44.

_____. 2004d. Standard Test Methods for Moisture Content of Paper and Paperboard by Oven
Drying. ASTM D 644-99 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards**
15.09: 34-36.

_____. 2004e. Standard Test Methods for Thickness of Paper and Paperboard. ASTM D
645/D 645M-97 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 37-39.

- ASTM International. 2004f. Standard Test Methods for Water Absorptiveness of Nonbibulous Paper and Paperboard (Cobb Test). ASTM D 3285-93 (Reapproved 1999). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 327-329.
- Andersson, C. and L. Järnström. n.d. **Distribution of starch and hydrophobic sizing agents**. Available Source: http://www.t2f.nu/t2f_rapp_f_85.pdf, October 21, 2005.
- Banker, G.S. 1966. Water vapor transmission properties of free polymer films. **J.Pharmac** 18: 457-472.
- BeMiller, J.N. 1997. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke** 49: 127-131.
- Biddle, R. and J. Packer. n.d. **Industrial Resins**. Available Source: <http://www.nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10A.pdf>, December 8, 2006.
- Blahovec, J. 2004. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering** 65: 6-12.
- Brandon, C.E. 1983. Properties of paper. pp. 1729-1732. In J.P. Casey, ed. **Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bruun, S.E. 2002. Starch, *In* J. Gullichsen and H. Paulapuro, comps. **Papermaking Science and Technology: pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Series 11**. Fapet Oy, Helsinki.
- Cantwell, M. 2001. **Properties and recommended conditions for storage of fresh fruits and vegetables**. Postharvest Technology. Available Source: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/index.shtml>, October 30, 2006.

- Chan, L.L. and P.W.K. Lau. 1994. **Wet Strength Resin and Their Application**. TAPPI Press, Atlanta.
- Clark, J.d'A. 1978. **Pulp Technology and Treatment for Paper**. Miller Freeman Publication, Inc. San Francisco.
- Cushing, M.L. 1979. Surface sizing. pp. 1667-1711. In J.P. Casey, ed. **Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Davison, R.W. and H.M. Spurlin. 1970. Sizing of paper. pp. 355-356. In K.W. Britt, ed. **Handbook of Pulp and Paper Technology**. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Devore, D.I. and S.A. Fischer. 1993. Wet strength mechanism of polyaminoamide-epichlorohydrin resins. **Tappi Journal** 76 (8): 121-128.
- Dury-Brun, C., V. Jury, V. Guillard, S. Desobry, A. Voilley and P. Chalier. 2006. Water barrier properties of treated-papers and application to sponge cake storage. **Food Research International** 39: 1002-1011.
- Dziedzic, S.Z. and M.W. Kearsley. 1995. The technology of starch production, pp. 1-25. *In* M.W. Kearsley and S.Z. Dziedzic, eds. **Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives**. Blackie Academic and Professional, London.
- Gällstedt, M., A. Brottman and M.S. Hedenqvist. 2005. Packaging-related properties of protien- and chitosan-coated paper. **Packaging Technology and Science** 18: 161-170.
- Han, J.H. and J.M. Krochta. 1999. Wetting properties and water vapor permeability of whey-protien-coated paper. **Transactions of the ASAE** 42: 1375-1382.

- Han, J.H. and J.M. Krochta. 2001. Physical properties and oil absorption of whey protein-coated paper. **Journal of Food Science** 66: 294-299.
- Hemadi, S., J. Huszar and P. Lengyel. 1977. Interactions between liquids and paper, pp. 693-707. *In* R.W. Hoyland, eds. **Transactions of BPBIF symposium: Fiber-water interactions in paper making**. The British Paper and Board Industry Federation, London.
- Hoseney, R.C. and D.R. Lineback. 1996. Methods of synthesis and characterization, *In* R.C. Hoseney, ed. **Starch: Structure, Properties and Food Uses**. August, 27-29. Bangkok.
- Humphries, M. 2004. **Fabric Reference**. 3rd ed. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River.
- International Organization for Standardization. 1984. Paper and board – Conditioning of samples. ISO 187-1977 (E). **ISO Standard Handbook 23 Paper, board and pulps** 23: 224-225
- Keavney, J.J. and R.J. Kulick. 1983. Internal sizing, pp.1550-1557. *In* J.P. Casey, ed. **Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Keim, G.I. 1960. **Wet Strength Paper and Method of Making Same**. U.S. Patent 1,926,154.
- Keskitalo, I. 2000. **The penetration profile of water-based inks into laboratory sheets made from bleached eucalypt kraft pulp**. M.S. thesis, Lulea Tekniska University.
- Ketola, H. and P. Hagberg. 2003. **Modified starch**. US Patent 6,670,470.
- Kline, J.E. 1991. **Paper and Paperboard Manufacturing and Converting Fundamentals**. 2nd ed. Miller Freeman Publications, inc., San Francisco.

- Knight, J.W. 1969. **The Starch Industry**. Pergamon Press Ltd., Oxford.
- Larotonda, F.D.S., K.N. Matsui, P.J.A. Sobral and J.B. Laurindo. 2005. Hygroscopicity and water vapor permeability of kraft paper impregnated with starch acetate. **Journal of Food Engineering** 71: 294-402.
- Lesko, P.M. and P.R. Sperry. 1997. Acrylic and styrene-acrylic polymers. pp. 620-651. In Lovell, P.A. and M.S. El-Aasser, eds. **Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers**. John Wiley & Sons, Inc. Chichester.
- Lipponen, J., J. Grön, S.-E. Bruun and T. Laine . 2003. Surface sizing with starch solutions at solids contents up to 30%. **Surface Sizing and Starch**. Available source: <http://lib.tkk.fi/Diss/2005/isbn9512274914/article2.pdf>, August 24, 2005.
- Lipponen, J. 2005. **Surface sizing with starch solutions at solids contents**. Doctor thesis, Helsinki University of Technology.
- Liu, J. 2004. **Effects of chemical additives of the light weight paper**. Doctor thesis, Georgia Institute of Technology.
- Maurer, H.W. 2001. **Starch and Starch Products in Surface Sizing and Paper Coating**. 2nd ed. Tappi Press, Atlanta.
- Mutsui, K.N., F.D.S. Larotonda, S.S. Paes, D.B. Luiz, A.T.N. Pires and J.B. Laurindo. 2004. Cassava bagasse-kraft paper composites: Analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties. **Carbohydrate Polymers** 55: 237-243.
- Nilsson, L. and B. Bergenstahl. 2006. Adsorption of hydrophobically modified starch at oil/water interfaces during emulsification. **Langmuir** 22: 8770-8776.

- Nissan, A.H. 1967. The significance of hydrogen bonding at the surface of cellulose network structure. pp. 221-225. In Marchessault, R.H. and C. Skaar, eds. **Surfaces and Coatings Related to Paper and Wood**. Syracuse University Press, New York.
- Parker, M.E., J.E. Bronlund and A.J. Mawson. 2006. Moisture sorption isotherms for paper and paperboard in food chain conditions. **Packaging Technology and Science** 19: 193-209.
- Parris, N., L.C. Dickey, J.L. Wiles, R.A. Moreau and P.H. Cooke. 2000. Enzymatic hydrolysis, grease permeation and water barrier properties of zein isolate coated paper. **Journal of Agriculture Food Chemistry** 48: 890-894.
- Ranson, B.W. 2004. New surface size option maintains performance, lessens internal sizing. **Proquest Agriculture Journals** 78 (7): 50-54.
- Rhim, J.W., J.H. Lee, and S.I. Hong. 2006. Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. **Food Science and Technology** 39 (7): 806-813.
- Richard, W., F. Peter and K. Sandeep. 2004. **A Process for Preparing Sized Paper and Paperboard**. European Patent WO2004099499.
- Ross, J.H., D. Baker and A.T. Coscia. 1964. Some reactions of epichlorohydrin with amines. **Journal of Organic Chemistry** 29: 824-826.
- Shogren, R.L., A. Viswanathan, F. Felker and R.A. Gross. 2000. Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch. **Starch/Stärke** 52: 196-204.
- Smith P.S. 1982. Starch derivatives and their uses in foods, pp. 237-269. *In* D.R. Lineback and G.E. Inglett, eds. **Food Carbohydrates**. AVI Publishing Co.,Inc., Westport.

- Soroka, W. 2000. **Fundamentals of Packaging Technology**. Institute of Packaging Professionals, Naperville.
- Sriroth, K., K. Piyachomwan, K. Sangseethong and C. Oates. 2002. Modification of cassava starch, **International Starch Convention**. June, 11-14. Cracow.
- Stannett, V.T. 1967. Mechanisms of Wet-Strength Development in Paper, pp. 269-299. *In* R.H. Marchessault, ed. **Surfaces and Coatings Related to Paper and Wood**. Syracuse University Press, New York.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2004. **Ring crush of paperboard. TAPPI T818 cm-97**. Tappi Journal, Atlanta.
- Thiele, B. and B. Hauschel. 2002. The Size Must Fit. **Feature-Sizing**. Available source: http://www.paperloop.com/db_area/archive/ppe_mag/2002/0210/ppe7.html, September 21, 2005.
- Thümmes, J.S., E. Schwarzenbach and D.I. Lee. 2002. Applications in the paper industry. pp. 75-81. In Urban, D. and K. Takamura, eds. **Polymer Dispersions and Their Industrial Applications**. Wiley-VCH, Weinheim.
- Tupper, E. 1995. The paper industry and starch applications, pp. 37-41. *In* **International Symposium on Cassava Starch and Starch Derivatives**. Nanning Guangxi, China.
- Viswanathan, A. 1999. Effect of degree of substitution of octenyl succinate starch on the emulsification activity on different oil phases. **Journal of Environmental Polymer Degradation** 7 (4): 191-196.
- Wang, K.T. and I.C. Wang. 2001. Study of ink holdout of tub-sized handmade paper. **Taiwan Lin Ye Ke Xue**. 16 (4): 227-236.

Wurzburg, O.B. 1986. **Modified Starches: Properties and Users**. CRC Press Inc., Boca Raton.

Xu, P., W. Zhong, H. Wang, Y. Lin and Q. Du. 2005. Study on water resistance of paper treated with polyacrylate microlatex. **Journal of Applied Polymer Science**. 95: 962-966.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดสารกัมมันตรังสีและสารเพิ่มความแข็งแรงขณะเป็ยก

สารก้นขี้ม

	Baysize [®] BMP	Baysize [®] AGP	Cartacol [®] XPM
Chemical description	Styrene acrylate copolymer	Styrene acrylate copolymer	Styrene acrylate copolymer
Ionicity	Amphoteric	Weakly anionic	Anionic
Appearance	Cream color	Cream color	Off-white
Odor	mild	Aromatic	Slight aromatic
Solids	24.0 %	25.0 %	23.0 – 25.0 %
Form	polymer dispersion	polymer dispersion	Liquid
Density	1.02 – 1.06 g/cm ³ (at 20°C)	1.02 – 1.06 g/cm ³ (at 20°C)	1.03 – 1.06 g/cm ³ (at 20°C)
pH value	5.1	6.1	9.0
Viscosity	6 mPa s (Brookfield RV, 100 rpm, 23°C)	6 mPa s (Brookfield RV, 100 rpm, 23°C)	10 mPa s (Brookfield RVT, 50 rpm, 25°C)
Price	1.1 US\$/kg	1.0 US\$/kg	1.0 US\$/kg

สารเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียก Kymene® 557H

Chemical description	Polyamide-epichlorohydrin
Ionicity	Cationic
Appearance	Pale amber
Odor	Odorless
Solids	12.5 %
Form	Liquid
Density	1.03 kg/m ³
pH value	4.6-4.9
Viscosity	40-60 cps (at 21°C)

ภาคผนวก ข
วิธีการทดสอบ

การทดสอบปริมาณความชื้นของสตาร์ช

มาตรฐานการทดสอบ คัดแปลงจาก AOAC 1995

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can)
3. ตู้อบไฟฟ้า
4. เชสิกเคเตอร์พร้อมบรรจุสารดูดความชื้น

วิธีการทดสอบ

1. อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมฝาก่อนอบ นำไปใส่ในตู้อบไฟฟ้า 105 ± 2 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยระหว่างการอบให้เปิดฝาด้วยเอาไว้เล็กน้อย
2. ชั่งน้ำหนักสตาร์ชประมาณ 3 กรัมใส่ในถ้วยอลูมิเนียม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักสตาร์ชก่อนอบ นำไปใส่ในตู้อบไฟฟ้า 105 ± 2 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.0010 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักสตาร์ชหลังอบ
3. เมื่อครบเวลา ปิดฝาด้วยแล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.0010 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักสตาร์ชหลังอบ
4. ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ชุดต่อ 1 ตัวอย่าง รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ได้ในหน่วยร้อยละ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักสตาร์ชก่อนอบ} - \text{น้ำหนักสตาร์ชหลังอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

การทดสอบค่ากรด-ด่างของสารเคลือบ

อุปกรณ์

1. เครื่อง Portable Microprocessor pH Meter (HI 8424), Hanna Instruments
2. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

วิธีการ Calibrate เครื่องก่อนการทดสอบ

1. ถอดปลอกของ pH electrode ออกแล้วจุ่มหัววัดลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่ากรด-ด่างเท่ากับ 7.01
2. เปิดเครื่องทำงานและกดปุ่ม rang ให้เครื่องอยู่ที่โหมดการวัดค่ากรด-ด่าง
3. กดปุ่ม CAL หน้าจอจะแสดงค่ากรด-ด่างกระพริบที่ 7.01 รอจนกระทั่งค่ากรด-ด่างหยุดกระพริบ จากนั้นกดปุ่ม CON หน้าจอเครื่องจะขึ้น E5
4. นำ pH electrode จุ่มลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่ากรด-ด่างเท่ากับ 4.01 สำหรับการทดสอบสารเคลือบที่อยู่ในช่วงของความเป็นกรด หรือจุ่มในสารละลายมาตรฐานที่มีค่ากรด-ด่างเท่ากับ 10.01 สำหรับการทดสอบสารเคลือบที่อยู่ในช่วงของความเป็นด่าง จากนั้นหน้าจอจะขึ้นค่ากรด-ด่างที่ทำการ calibrate โดยอัตโนมัติและจะกระพริบ รอจนค่ากรด-ด่างหยุดกระพริบ
5. กดปุ่ม CON อีกครั้งเพื่อยืนยันค่ากรด-ด่างที่ทำการ calibrate

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างสารละลายที่จะทดสอบค่ากรด-ด่าง แบ่งใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มล.
2. จุ่มหัววัดที่ calibrate แล้วลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารเคลือบ
3. บันทึกค่ากรด-ด่างที่ได้
4. ทำการทดสอบ 2 ซ้ำต่อสารเคลือบ 1 ชนิด

การทดสอบค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 646 - 96

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

วิธีการทดสอบ

1. สุ่มตัวอย่างกระดาษ ตัดให้มีขนาดพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 500 ตารางเซนติเมตร หรือ 20 x 25 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง พร้อมบันทึกค่า
4. ทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง รายงานผลเป็นค่าน้ำหนักเฉลี่ยในหน่วยกรัมต่อตารางเมตร

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตร.ม.)} = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{พื้นที่กระดาษ (ตร.ชม.)}} \times 10000$$

การทดสอบความหนาของกระดาษ

มาตรฐานการทดสอบ คัดแปลงจาก ASTM D 645 - 97

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนา (Mitutoyo, Japan)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

วิธีการทดสอบ

1. ตัดตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 3 x 15 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. วัดความหนาแผ่นละ 5 จุด ตามความยาวของกระดาษ โดยทุกครั้งให้หัววัดสัมผัสกระดาษ ให้เว้นระยะห่างระหว่างหัววัดและขอบกระดาษอย่างน้อยด้านละ 0.6 เซนติเมตร
4. วัดค่าทั้งหมด 50 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความหนาในหน่วยมิลลิเมตร

การทดสอบปริมาณความชื้นในกระดาษ

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 644 - 99

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
3. ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can)
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เซลิกเคเตอร์พร้อมบรรจุมารวัดความชื้น

วิธีการทดสอบ

1. อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งไว้ให้เย็นในเซลิคเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมฝา
2. สุ่มตัวอย่างกระดาษเพื่อนำไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. ตัดกระดาษให้มีขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมให้มีน้ำหนักประมาณ 3 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักกระดาษก่อนอบ นำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยระหว่างการอบให้เปิดฝาด้วยเอาไว้เล็กน้อย
3. เมื่อครบเวลา ปิดฝาด้วยแล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในเซลิคเคเตอร์เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.0010 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักกระดาษหลังอบ
4. ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ได้ในหน่วยร้อยละ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกระดาษหลังอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test)

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3285 - 93

อุปกรณ์

1. ชุดทดสอบค่า Cobb test
2. ลูกกลิ้งโลหะผิวเรียบ น้ำหนัก 10.0 ± 0.5 กิโลกรัม
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
4. กระจกตวงปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
6. นาฬิกาจับเวลา
7. กระดาษทิชชู่อเนกประสงค์ ยี่ห้อ สก็อต (Scott towel)

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษตัวอย่างให้มีขนาด 12.5×12.5 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างออกมา ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนการทดสอบ จากนั้นนำกระดาษวางบนชุดทดสอบค่า Cobb test โดยหันกระดาษด้านที่จะทดสอบขึ้นด้านบน
4. เทน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปในวงแหวนของชุดทดสอบค่า Cobb test แล้วเริ่มจับเวลาทันที ระวังไม่ให้มีหยดน้ำหกออกมาจวงแหวน
5. เมื่อถึงวินาทีที่ 105 ให้เทน้ำออกจากวงแหวนอย่างรวดเร็ว โดยไม่ให้มีน้ำหยดออกนอกพื้นที่วงแหวน นำกระดาษทดสอบวางลงบนกระดาษทิชชู โดยให้ผิวกระดาษด้านเปียกอยู่ข้างบน จากนั้นรีบนำกระดาษทิชชู่อีกแผ่นหนึ่งวางบนกระดาษทดสอบ ใช้ลูกกลิ้งโลหะกลิ้งทับไปบนกระดาษทิชชูไปและกลับ จากนั้น นำกระดาษทดสอบไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
6. ทำการทดสอบทั้งหมด 10 ซ้ำ แบ่งเป็นด้านสักหลาด 5 ซ้ำและด้านตะแกรง 5 ซ้ำ

การคำนวณ

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัม/ตร.ม.)} = (\text{น้ำหนักหลังทดสอบ}) - (\text{น้ำหนักก่อนทดสอบ}) \times 100$$

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะเล

มาตรฐานการทดสอบ คัดแปลงจาก ASTM D 774-97

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะเล (Mullen, USA)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษตัวอย่างให้มีขนาด 15 x 15 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. นำกระดาษที่จะทดสอบวางบนเครื่องทดสอบ โดยให้ผิวกระดาษด้านสักลาดอยู่ด้านบน ยึดแผ่นกระดาษด้วย Clamping device
4. เริ่มทดสอบตัวอย่างโดยให้แรงดันดันกระดาษจนทะเล บนที่ค่าที่ใช้ในการดันตัวอย่างจนทะเล
5. ทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงดันทะเล ในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน

มาตรฐานการทดสอบ คัดแปลงจาก TAPPI T 818-om97

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน (Testometric 350, England)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
3. เครื่องตัดชิ้นทดสอบ
4. Specimen holder

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษขนาด 1.27 x 15.2 เซนติเมตร ทั้งแนว MD และ CD ด้วยเครื่องตัดชิ้นทดสอบ โดยถ้าด้านยาวของชิ้นตัวอย่างตั้งฉากกับแนวเยื่อกระดาษ ให้เป็นตัวอย่างแนว MD ถ้าด้านยาวของชิ้นตัวอย่างขนานกับแนวเยื่อกระดาษ ให้เป็นตัวอย่างแนว CD
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างกระดาษสอดเข้าไปใน Specimen holder จากนั้นนำ Specimen holder ที่มีกระดาษสอดอยู่วางบนเครื่องทดสอบแรงกดวงแหวน
4. กดตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบด้วยอัตราเร็ว 12.7 เซนติเมตรต่อนาที จนกระทั่งขอบของชิ้นทดสอบเสียรูป บันทึกผลเป็นค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนในทิศ MD และ CD
5. ทำการทดสอบอย่างน้อยละ 15 ชิ้น ทั้งในทิศ MD และ CD รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยในหน่วยกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m)

การคำนวณ

ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร) = $\frac{\text{ความต้านทานแรงกดวงแหวนที่วัดได้ (นิวตัน)}}{152}$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวดวงทิพย์ คุ้มเกียรติกุลชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 23 ธันวาคม 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมเกษตร วิชาเอกเทคโนโลยีการบรรจุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยประเภทวิทยานิพนธ์