



บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมี

1. ซิลิกา (Silica)
2. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate)
3. คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose หรือ CMC)
4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol)

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. กระดาษปรู๊ฟสำหรับหนังสือพิมพ์ น้ำหนัก 45 แกรม
2. กระดาษปรู๊ฟ นำเข้าจากญี่ปุ่น
3. อุปกรณ์เครื่องแก้วทางวิทยาศาสตร์
4. อุปกรณ์วัดความหนืดของเหลว (Zahn cup#3)
5. แท่งเคลือบสาร (Bar Coater) เบอร์ 2 ยี่ห้อ K Hand Coater ขนาดขดลวด 0.15 มิลลิเมตร ให้ความหนาขณะเป็ยก 12 ไมโครเมตร
6. เครื่องชั่งตศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler TOLEDO รุ่น AB204-S
7. เครื่องชั่งตศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler รุ่น AE240
8. เครื่องให้ความร้อน Hotplate Stirrer Model HTS-1003 ยี่ห้อ HARMONY
9. เครื่องทดสอบความทนทานต่อการขัดถู ยี่ห้อ Sutherland Rub Tester
10. แผ่นใสขนาด 6 x 13 เซนติเมตรพิมพ์ตารางช่องละ 0.5 ตร.ซม.จำนวน 250 ช่อง
11. เครื่องวัดความหนา Digital thickness gauge
12. เครื่องวัดเจดสีกระดาษ ยี่ห้อ elrepho 2000
13. เครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ X-Rite รุ่น SpectroEye
14. เครื่องถ่ายภาพกำลังขยายสูง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM-6400 ของบริษัท JEOL
15. เครื่องวัดขนาดอนุภาค Particle size analyzer ยี่ห้อ Malvern รุ่น Mastersizer S ของ UK
20. กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ LEICA EZ4
21. เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก 4 สี ยี่ห้อ HP รุ่น Photosmart Plus B210a ความละเอียด 9600 x 2400 dpi

3.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการหมึกพิมพ์ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4. ห้องปฏิบัติการเชื้อและกระดาษ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. ศึกษาสมบัติของซีลีกาและแคลเซียมคาร์บอเนต
2. การเตรียมสารเคลือบ
3. การทดสอบสารเคลือบและการเคลือบสาร
4. ทดสอบคุณสมบัติของกระดาษปรีฟเคลือบสาร
5. วิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษปรีฟเคลือบสาร
6. เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์
 - 6.1 กระดาษหนังสือพิมพ์ในประเทศที่เคลือบสารกับกระดาษไม่เคลือบสาร
 - 6.2 กระดาษหนังสือพิมพ์ในประเทศที่เคลือบสารกับกระดาษหนังสือพิมพ์นำเข้าจาก

ต่างประเทศ

3.3.1 ศึกษาสมบัติของซีลีกา และแคลเซียมคาร์บอเนต

1. ใช้เครื่องมือ Particle size analyzer (Mastersizer S long bed, version 2.19) ซึ่งสามารถหาขนาดเฉลี่ยของอนุภาคของซีลีกา และแคลเซียมคาร์บอเนตได้ โดยใช้เป็นตัวอย่างในการกระจายอนุภาค และใช้แสงในการส่อง สะท้อนอนุภาคของสารเพื่อให้ทราบขนาดอนุภาค

2. ใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ในการถ่ายภาพ ใช้กำลังขยายที่ 2,500 และ 10,000 เท่า เพื่อดูรูปร่าง ลักษณะพื้นผิวของซีลีกา และแคลเซียมคาร์บอเนต โดยการนำสารตัวอย่างติดไว้ที่แท่นทองเหลือง แล้วนำไปฉายทอง (ภาคผนวก ง) เพื่อให้สารตัวอย่างนำไฟฟ้าแล้วนำเข้าเครื่อง SEM ซึ่งการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ

3.3.2 การเตรียมสารเคลือบ

ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบมีวิธีการเตรียมดังนี้

1. เตรียมสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 10, 15, 16, 17, 20, 25 และ 30 ที่มีสัดส่วนของ ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็น 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 จากนั้นผสมสารสี (pigment) คือ ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต กับสารยึดติด คือ PVOH โดยมีสัดส่วนของสารสี ($\text{SiO}_2:\text{CaCO}_3$) ต่อสารยึดติด (PVOH) และสารยึดร่วม (CMC) เป็น 100:30:2
2. ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 25 นาที หรือจนกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายหมด แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
3. เตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำกลั่นให้เป็น slurry (pigment 65%, water 35%) จากนั้นผสมซิลิกาลงไป กวนให้เข้ากัน
4. นำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ผสมกับ Pigment slurry กวนเป็นเวลา 20 นาที หากสารเคลือบเกิดฟอง ให้นำไปไล่ฟองในอ่างอัลตราโซนิก หรือตั้งทิ้งไว้

3.3.3 การตรวจสอบสารเคลือบ และการเคลือบผิวกระดาษปรีฟ

3.3.3.1 วัดค่าความหนืด

โดยใช้ Zahn Cup#3 และสารเคลือบควรมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ทราบความหนืดของสารเคลือบที่นำมาเคลือบผิวกระดาษด้วยแท่งขดลวดเคลือบสาร

3.3.3.2 การเคลือบผิวกระดาษปรีฟ และการวัดปริมาณสารเคลือบที่ใช้ มีขั้นตอนดังนี้

1. นำกระดาษปรีฟขนาด A4 ยึดติดกับกระดาษแข็งด้วยสก็อตเทปใสทั้ง 4 ด้าน
2. ชั่งน้ำหนักของสารเคลือบก่อนที่จะเคลือบผิวกระดาษ แล้วบันทึกค่า
3. นำสารเคลือบจากข้อ 2. ไปเคลือบบนกระดาษปรีฟขนาด A4 โดยใช้แท่งขดลวดเคลือบสาร (Bar Coater) เบอร์ 2 ปาดสารเคลือบลงบนกระดาษให้ทั่วทั้งแผ่น
4. หลังจากเคลือบผิวกระดาษเสร็จ ชั่งสารเคลือบที่เหลือจากการเคลือบผิว แล้วบันทึกค่า
5. เคลือบผิวกระดาษแผ่นต่อไป แล้วชั่งสารเคลือบที่เหลือจากการเคลือบผิวอีกครั้ง
6. นำค่าน้ำหนักของสารเคลือบที่บันทึกไว้มาหาค่าเฉลี่ยของสารเคลือบที่ใช้ไป เพื่อหาปริมาณสารเคลือบบนกระดาษขนาด A4 1 แผ่น

3.3.4 สมบัติของกระดาษเคลือบสาร

ทดสอบคุณสมบัติกระดาษที่เคลือบสาร โดยวิเคราะห์ผิวของกระดาษเคลือบที่ผลิตได้ ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักของกระดาษเคลือบขนาด A4 ด้วยเครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง
2. วัดความหนาของกระดาษเคลือบด้วยเครื่องวัดความหนา Digital thickness gauge โดยวัดทั้งหมด 6 ตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
2. วัดค่าสี CIE $L^* a^* b^*$ ของกระดาษเคลือบด้วยเครื่องวัดเฉดสีกระดาษปรีฟ ยี่ห้อ elrepho 2000 โดยวัดตามมาตรฐาน ISO 5031:2000 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนสารเคลือบแต่ละสูตรต่อเฉดสีของกระดาษ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความต่างสี (ΔE) เทียบกับกระดาษไม่เคลือบสาร

$$\text{สูตร } \Delta E^*_{ab} = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2}$$

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

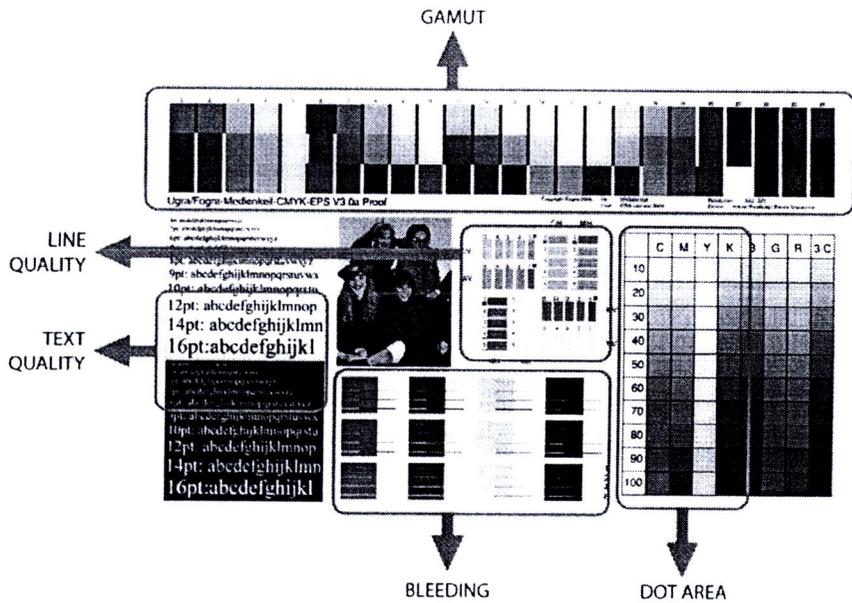
โดยที่ ΔE^*_{ab}	คือ ความแตกต่างสีรวมระหว่างสีสองสีใดๆ
$L^*_1 a^*_1 b^*_1$	คือ ค่าพิกัดสีซีแอลบีของสีที่หนึ่ง
$L^*_2 a^*_2 b^*_2$	คือ ค่าพิกัดสีซีแอลบีของสีที่สอง

$\Delta L^* \Delta a^* \Delta b^*$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพิกัดสี $L^* a^* b^*$ ของสีทั้งสอง

3. ถ่ายภาพขยายด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ 5,000 เท่า เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของชั้นสารเคลือบบนกระดาษ วิธีเตรียมตัวอย่างคือ ตัดกระดาษเคลือบเป็นชิ้นเล็ก ติดกับแท่นทองเหลืองด้วยเทปกาว 2 หน้า แล้วนำตัวอย่างไปฉาบทอง เพื่อให้นำไฟฟ้าได้ นำเข้าเครื่อง SEM แล้วถ่ายภาพพื้นผิวกระดาษเคลือบสาร

3.3.5 คุณภาพงานพิมพ์

ใช้ Test Chart ดังรูปที่ 3.1 ที่ผลิตขึ้นเพื่อให้ได้องค์ประกอบที่ต้องการทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ โดยใช้ไฟล์แบบทดสอบมาตรฐาน ในการประเมินคุณภาพงานพิมพ์ระบบพ่นหมึกบนกระดาษที่ผลิตได้ โดยพิมพ์ Test Chart บนกระดาษไม่เคลือบสาร กระดาษเคลือบสาร และกระดาษนำเข้าจากต่างประเทศสูตรละ 2 แผ่น จากนั้นนำค่าที่วัดมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.1 Test Chart

หลังจากพิมพ์ Test Chart ดังรูปที่ 3.1 แล้วจึงนำมาทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ ดังนี้

1. ค่าความดำสีพื้นที่บ (Ink Density) ด้วยเครื่อง Spectrodensitometer
2. ความคมชัดของตัวอักษร (Text sharpness) โดยการถ่ายภาพขยายตัวอักษรที่ขนาด 6 pt บนพื้นขาว (positive) และตัวอักษรเงาขาวบนพื้นทึบ (Negative) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 35 เท่า
3. การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สีดำนพื้นสีเหลือง (Color Bleeding) โดยการถ่ายภาพขยาย 35 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์

$$\% \text{ Bleed} = \frac{\text{ขนาดของเส้นที่ผลิตได้} - \text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}}{\text{ขนาดเส้นต้นฉบับ}} \times 100$$

4. เม็ดสกรีนบวม (Dot Gain) ด้วยเครื่อง Spectrodensitometer ได้เปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดสกรีนบวม วัดทั้งสองแผ่น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

5. ทดสอบความทนต่อการขัดถูของกระดาษเคลือบสาร (Rub Test)

- ตัดกระดาษปอนด์ขาว ขนาด 5×12 เซนติเมตร ตัดไว้ที่ลูกค้อนน้ำหนัก 2 ปอนด์
- ตัดกระดาษที่พิมพ์แล้ว ขนาด 6×13 เซนติเมตร ตัดไว้ที่ฐานสำหรับรองรับลูกค้อน
- เลือกความเร็วในการขัดถู (Speed) ระดับ 2
- จำนวนในการขัดถู (count) 40 ครั้ง

- ใช้แผ่นใสขนาด 5×12 เซนติเมตร มีตารางช่องละ 0.5×0.5 เซนติเมตร ทาบลงบนกระดาษปอนด์ขาว แล้วนับจำนวนช่องที่มีสีหมึกพิมพ์ติดบนกระดาษ วัดทั้งสองแผ่นแล้วหาค่าเฉลี่ยนำค่าเฉลี่ยมาคิดเปอร์เซ็นต์การหลุดตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ การหลุดของหมึกพิมพ์} = \frac{\text{จำนวนสี่ที่ติดบนกระดาษปอนด์ (ช่อง)} \times 100}{\text{จำนวนพื้นที่ทั้งหมด (ช่อง)}}$$

3.3.6 เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์

นำกระดาษที่เคลือบสารและคัดเลือกแล้ว มาทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติ โดยเปรียบเทียบในเรื่องของ

- ก. ค่าความดำพื้นที่บ
- ข. ค่าเม็ดสกรีนบวม
- ค. ความคมชัดของตัวอักษร
- ง. การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์

3.4 สถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 สูตรการหาค่าเฉลี่ย (\bar{X})

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

\bar{X} = ค่าเฉลี่ย

X_i = ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือทดสอบ

$\sum_{i=1}^n x_i$ = ผลรวมค่าความถี่ของแต่ละข้อมูล จำนวน n ชุด

n = จำนวนข้อมูล