การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลิกา ดินขาวนราธิวาสและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์สำหรับสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตโดยใช้วิธีออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ

นายอนันต์ เขมพาณิชย์กุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5165-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMIZATION OF SILICA, NARATIVAS KAOLIN AND PVA RATIO FOR INK JET PAPER COATING
USING STATISTICAL MIXTURE DESIGN METHOD

Mr. Anan Kempanichkul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirments
for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology
Department of Photographic Science and Printing Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2005
ISBN 974-17-5165-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลิกา ดินขาวนราธิวาสและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์สำหรับสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตโดยใช้วิธีออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ
โดย	นาย อนันต์ เขมพาณิชย์กุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุพิณ ต่างวิวัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตร์จารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. สุพิณ ต่างวิวัฒน์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตร์ตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายอนันต์ เขมพาณิชย์กุล : การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลิกา ดินขาวนราธิวาสและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์สำหรับสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตโดยใช้วิธีออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ (OPTIMIZATION OF SILICA, NARATIVAS KAOLIN AND PVA RATIO FOR INK JET PAPER COATING USING STATISTICAL MIXTURE DESIGN METHOD) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สุพิณ ต่างวิวัฒน์ 94 หน้า. ISBN 974-17-5165-6.

สารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตคือ ของผสมที่มีความซับซ้อนที่ประกอบสารสี สารยึด และสารเติมแต่งต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสัดส่วนขององค์ประกอบหนึ่งๆ จะส่งผลต่อสมบัติของสารเคลือบที่เปลี่ยนไป เนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวขององค์ประกอบต่างๆ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้ซิลิกาที่ได้จากขี้เถ้าแกลบที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6.083 μm และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 234.52 m^2/g เป็นสารสีหลัก ดินขาวนราธิวาสมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 69.04 μm และพื้นที่ผิวจำเพาะ 18.85 m^2/g เป็นสารสีร่วม พอลิไวนิลอัลกอฮอล์เป็นสารยึด และใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติในการวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารเคลือบ พบว่าสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนราธิวาส 75:25 และ 50:50 ให้สมบัติงานพิมพ์ที่ดีกว่าถึงเทียบเท่ากับการใช้ซิลิกาแต่เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามสัดส่วนที่ 50:50 ให้ความขาวลดลงเล็กน้อย เนื่องจากดินขาวนราธิวาสให้สีขาวอมเหลือง นอกจากนี้พบว่าการใช้วิธีออกแบบส่วนผสมแบบซิมเพล็กแลททิสและแผนภูมิแสดงลักษณะของสมบัติกระดาษและสมบัติงานพิมพ์ เมื่อใช้สารสีในสัดส่วนต่าง ๆ มีประโยชน์ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ให้คุณภาพงานพิมพ์สูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต ....
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา....................
ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม....................

4672550323 : MAJOR TECHNOLOGY

KEY WORD: SILICA / KAOLIN / PVOH / INK JET COATING / PRINT QUALITY

ANAN KEMPANICHKUL : OPTIMIZATION OF SILICA, NARATIVAS KAOLIN AND PVA RATIO FOR INK JET PAPER COATING USING STATISTICAL MIXTURE DESIGN METHOD. THESIS ADVISOR : PICHAYADA KATEMAKE ,Ph.D, THESIS COADVISOR : SUPIN TANGWIWAT,Ph.D, 94 pp. ISBN 974-17-5165-6.

Due to amorphous silica being widely used as a pigment in inkjet coating paper and it can be produced from rice husk ash which is waste after the energy from rice husk is used in industries, we, therefore, investigate its application to inkjet coating. Properties and print quality of the inkjet paper coated by using two types of pigment: the high purity amorphous silica gel, synthesized from the rice husk ash, having the average size of 6.08 μm, porosity volume of 1.085 $\times10^4$ cc/(μm-g) and the specific area of 234.25 m^2/g and Narativas kaolin having the average size of 69.04 μm, porosity volume of 5.967$\times10^3$ cc/(μm-g) and the specific area of 18.85 m^2/g, as well as PVOH as a binder were investigated. Mixture design with three components was introduced to optimize the properties and print quality, the response variations. The properties of the coated paper studied were brightness, whiteness and opacity, and the print quality considered was ink density, inter-color bleed as well as text and line quality. Results show that the ratio of silica to Narativas kaolin, 75:25 and 50:50 gave better to equivalent properties and print quality than using the silica alone. However, the whiteness of the coating paper of the latter ratio decreased by a small amount. The application of the simplex lattice mixture design and the response surface contour plots were found very useful in optimizing an inkjet-paper coating formulation for maximum print quality.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Photographic Science and Printing Technology
Field of study Imaging technology
Academic year 2005

Student's signature....Anan K.......
Advisor's signature....Pichayada K.
Co-advisor's signature....Supin T....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ และ ดร. สุพิณ ต่างวิวัฒน์ อาจารที่ปรึกษาที่ให้ความดูแลในการทำงาน ให้ความรู้และความเอาใจใส่ต่อปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

ขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ที่เป็นกำลังใจและแก้ไขปัญหาให้

สุดท้ายขอขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่และคนในครอบครัวที่คอยเป็นห่วงและกระตุ้นเตือนอยู่เสมอให้ทำงานวิจัยให้เสร็จได้ทันเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย....ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ....จ

กิตติกรรมประกาศ....ฉ

สารบัญ....ช

สารบัญรูป....ฎ

สารบัญตาราง....ด

บทที่1 บทนำ....1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย....1

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....1

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....2

2.1 แนวคิดและทฤษฎี....2

2.1.1 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)....2

2.1.1.1 โครงสร้างของซิลิกา....2

2.1.1.2 ลักษณะของซิลิกา....3

2.1.1.3 รูปแบบของซิลิกา....3

2.1.2 ดินขาว....7

2.1.2.1 การกำเนิดและการศึกษาเกี่ยวกับแร่....7

2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินขาว....8

2.1.2.3 ความขาวสว่างของสารเคลือบดินขาว....9

2.1.2.4 ขนาดอนุภาค....9

2.1.2.5 สมบัติของกระดาษเคลือบผิวที่ถูกส่งผลกระทบโดยดินขาว...10

2.1.3 พอลิไวนิลกอฮอล์ (PVOH)....11

2.1.3.1 คุณสมบัติทางเคมีและกระบวนการผลิต....11

2.1.3.2 ความดำของงานพิมพ์....13

2.1.3.3 เวลาของการแห้งตัว....14

2.1.3.4 การใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเทกซ์....14

2.1.3.5 ความหนืดและการไหล....16

2.1.3.6 กำลังการยึดติดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....16

บทที่ หน้า

2.1.4 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC)..17

2.1.4.1 สมบัติของซีเอ็มซี 17

2.1.4.1.1 การละลาย..17

2.1.4.1.2 ความหนืด..17

2.1.4.1.3 เสถียรภาพ (Stability)..18

2.1.4.1.4 ความสามารถในการเกิดฟิล์ม..18

2.1.4.1.5 ความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต..19

2.1.5 สารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต (Ink jet coating)..20

2.1.5.1 สูตรน้ำยาสารเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ต..20

2.1.5.2 ผลของสูตรน้ำยาสารเคลือบที่มีต่อสมบัติกระดาษเคลือบผิว...21

2.1.5.2.1 สมบัติเชิงแสงของกระดาษเคลือบผิว.................... 21

2.1.5.2.2 สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษเคลือบผิว....................22

2.1.6 การพิมพ์อิงก์เจ็ต (Ink jet printing)..23

2.1.7 สมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว..25

2.1.7.1 ความขาวสว่าง (Brightness)..25

2.1.7.2 ความขาว (Whiteness)..25

2.1.7.3 ความเรียบ (Smoothness)..25

2.1.8 คุณภาพงานพิมพ์..26

2.1.8.1 ความดำของหมึกพิมพ์ (Ink density)..26

2.1.8.2 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ (Inter-color Bleed) 26

2.1.9 Test target 27

2.1.10 การออกแบบของผสม (Mixture Design)..29

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..35

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..36

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..37

3.1.1 สารเคมี..37

3.1.2 อุปกรณ์..38

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 39

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบและวิเคราะห์สมบัติของซิลิกา..... 39

บทที่ หน้า

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมดินขาว และศึกษาสมบัติต่างๆ ของดินขาว................. 40
3.2.3 ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบ.. 40
3.2.3.1 การเตรียมสารเคลือบ...40
3.2.3.2 ตรวจสอบสมบัติกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ 41
3.2.4 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์.. 42
3.2.5 การเปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์... 42
3.2.6 การออกแบบของผสม (Mixture design).. 42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.. 45
4.1 การเตรียมซิลิกาและวิเคราะห์สมบัติของซิลิกา...45
4.1.1 สมบัติของซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบ... 45
4.1.2 สมบัติของดินขาวนราธิวาส 46
4.1.3 การเปรียบเทียบสมบัติของสารสี...47
4.2 การเตรียมสารเคลือบ 48
4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้
และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์.. 49
4.3.1 ลักษณะผิวหน้าของชั้นสารเคลือบ...49
4.3.2 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตและคุณภาพงานพิมพ์.................................... 52
4.3.2.1 ความขาวและความขาวสว่าง...54
4.3.2.2 น้ำหนักของชั้นสารเคลือบ 54
4.3.2.3 ความดำของสีดำ...55
4.3.2.4 คุณภาพของเส้นและตัวอักษร...57
4.3.2.5 การซึมเข้าหากันของสีดำและสีเหลือง...61
4.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์.. 64
4.4 การออกแบบของผสม(Mixture design).. 65
4.4.1 การผลิตสารเคลือบตามการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส...... 65
4.4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์...68
4.4.2 ผลของการออกแบบของผสม... 78
4.4.2.1 ความขาวของกระดาษเคลือบผิว... 79
4.4.2.2 ความดำของสีดำ..81

บทที่ หน้า

4.4.2.3 ร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึก......83

4.4.2.4 สูตรของสารเคลือบที่ดีที่สุด...... 85

4.4.3 การทดสอบแบบจำลอง...... 86

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 88

5.1 สรุปผลการวิจัย......88

5.2 ข้อเสนอแนะ 88

รายการอ้างอิง......89

ภาคผนวก......90

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์......92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 รูปแบบต่าง ๆของการเชื่อมต่อของ SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิเกต......... 2

2.2 การเกิดปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันของซิลิกา ในสารละลายด่าง (B) อนุภาคของโซลมีขนาดเพิ่มขึ้น ในสารละลายกรดหรือเกลือ (A) อนุภาคเกิดการรวมกลุ่มเป็นโครงสร้างตาขาย 3 มิติเกิดเป็นเจล (2)........ 4

2.3 ผลของ pH ของคอลลอยดอลซิลิกาในน้ำ(2)........ 5

2.4 โครงสร้างของคาโอลิไนท์ (Kaolinite)........7

2.5 การกระจายตัวของอนุภาคสำหรับดินขาวที่ใช้เป็นฟิลเลอร์และสารเคลือบ........ 9

2.6 สัดส่วนของซิลิกาที่ใส่สูงสุดก่อนจะเกิดปัญหาผงฝุ่น........ 13

2.7 เวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวเมื่อมีซิลิกา 0 และ 100 ส่วน........ 14

2.8 การเกิด wicking สำหรับสารเคลือบที่ใช้สารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับ Latex........ 16

2.9 เทคโนโลยีพ่นหมึกด้วยความร้อน........23

2.10 การสร้างหยดหมึกของ Thermal Inkjet (a)เครื่องพิมพ์ของ Cannon (b) เครื่องพิมพ์ของHP 24

2.11 QEA test target สำหระบบวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์........27

2.12 ไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต (Trilinear co-ordinate)........31

2.13 การออกแบบแบซิมเพล็กแลททิสสำหรับ p = 3 และ p = 4 องค์ประกอบ........ 31

2.14 การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส 2 ระดับที่รวมจุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (center points) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดศูนย์กลางและจุดมุม (axial points)........ 32

2.15 การออกแบบแบบซิมเพล็กเซ็นตรอยด์ (Simplex centroid design) สำหรับ องค์ประกอบ (a) และ 4 องค์ประกอบ (b) 34

4.1 ขนาดของอนุภาคซิลิกา........ 45

4.2 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกา 45

4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของดินขาว........46

4.4 ภาพถ่าย SEM ของดินขาว........46

4.5 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 100:0 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 17 กำลังขยาย 500 เท่า........49

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ หน้า

4.6 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 100:0 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 17 กำลังขยาย 5000 เท่า.......... 49
4.7 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 90:10 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 21 กำลังขยาย 500 เท่า 50
4.8 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 90:10 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 21 กำลังขยาย 5000 เท่า 50
4.9 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 75:25 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 500 เท่า 50
4.10 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 75:25 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 5000 เท่า 50
4.11 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 50:50 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 500 เท่า 51
4.12 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 50:50 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 5000 เท่า.......... 51
4.13 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 0:100 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 30 กำลังขยาย 500 เท่า 51
4.14 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 0:100 และ สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 30 กำลังขยาย 5000 เท่า 51
4.15 ความขาวและความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิวเมื่อใช้ ซิลิกา:ดินขาว ในสัดส่วนต่างๆกัน.......... 54

รูปที่ หน้า
4.16 น้ำหนักของชั้นสารเคลือบ.......... 55
4.17 ความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวต่างชนิด.......... 55
4.18 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษฐานน้ำหนัก 80 แกรม.......... 59
4.19 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 และมีร้อยละของของแข็ง 17.......... 59
4.20 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 และมีร้อยละของของแข็ง 17.......... 59
4.21 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 และมีร้อยละของของแข็ง 21.......... 59
4.22 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 และมีร้อยละของของแข็ง 17.......... 59
4.23 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 และมีร้อยละของของแข็ง 22.......... 60
4.24 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 และมีร้อยละของของแข็ง 17.......... 60
4.25 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 และมีร้อยละของของแข็ง 22.......... 60
4.26 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 และมีร้อยละของของแข็ง 17.......... 60
4.27 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 และมีร้อยละของของแข็ง 25.......... 60
4.28 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 และมีร้อยละของของแข็ง 30.......... 60
4.29 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 ที่ร้อยละของแข็ง 17.......... 61
4.30 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 ที่ร้อยละของแข็ง 17.......... 61
4.31 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:0 ที่ร้อยละของแข็ง 21.......... 62

รูปที่ หน้า

4.32 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 ที่ร้อยละของแข็ง 17 62
4.33 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 ที่ร้อยละของแข็ง 22 62
4.34 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 ที่ร้อยละของแข็ง 17 62
4.35 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 ที่ร้อยละของแข็ง 22 62
4.36 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็ง 17 62
4.37 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็ง 25 63
4.38 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็ง 30 63
4.39 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษฐานที่มีน้ำหนัก 80 แกรม 63
4.40 การจัดเรียงตัวของอนุภาคดินขาวในชั้นสารเคลือบ (13) 64
4.41 ส่วนตัดขวางของชั้นสารเคลือบดินขาว (13) 64
4.42 กลไกการการดูดซึมหมึกพิมพ์ของซิลิกา(12) 65
4.43 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 1 70
4.44 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 2 70
4.45 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 3 70
4.46 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 4 70
4.47 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 5 71
4.48 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 6 71
4.49 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 7 71
4.50 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 8 71
4.51 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 9 71
4.52 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 10 71
4.53 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 11 72

รูปที่ หน้า

4.54 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 12 72

4.55 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 13 72

4.56 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 1 73

4.57 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 2 73

4.58 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 3 73

4.59 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 4 73

4.60 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 5 74

4.61 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 6 74

4.62 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 7 74

4.63 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 8 74

4.64 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 9 75

4.65 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 10 75

4.66 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 11 75

4.67 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 12 75

4.68 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 13 76

4.69 กลไกการไหลซึมของหมึกพิมพ์ในชั้นสารเคลือบที่มีซิลิกาอยู่มาก 77

4.70 กลไกการไหลซึมของหมึกพิมพ์ในชั้นสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาว 77

4.71 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตของค่าความขาว 79

4.72 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตของค่าความดำ 81

4.73 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตของค่าร้อยละของการล้นเลอะ 83

4.74 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตแสดงจุดตัดของเส้นกราฟของสมบัติต่างๆ สำหรับ
สูตรสารเคลือบที่ดีที่สุด 85

4.75 ตัวอักษรเนกาทิฟ(ซ้าย) และตัวอักษรพอซิทิฟ(ขวา) ขนาด 6 พอยท์ 86

4.86 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ล้นเลอะเข้าไปในสีเหลือง 87

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมบัติทางกายภาพของดินขาวจอร์เจีย 8

2.2 ชนิดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีร้อยละการไฮโดรไลซิสต่างกัน........ 12

2.3 ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวที่ใช้สารยึดในสารเคลือบผิว เป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และStarch 13

2.4 คุณลักษณะของซีเอ็มซีสำหรับการประยุกต์ในงานต่างๆ (Thai Cellulose Products Ltd.) 19

2.5 คุณลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐาน........ 28

2.6 สัดส่วนของของผสมการออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส 2 ระดับ 3 องค์ประกอบ 33

3.1 สูตรสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวในสัดส่วนต่างๆ........ 39

3.2 สูตรสารเคลือบที่ถูกกำหนดขึ้นตามการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส........ 42

4.1 สมบัติทางกายภาพของสารสี 46

4.2 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวในสัดส่วนต่างๆ........ 47

4.3 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซิลิกาและดินขาวเป็นสารสีในสัดส่วนต่างๆ........ 52

4.4 คุณภาพของเส้นขนาดเล็กที่สุดของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้........ 56

4.5 การกำหนดช่วงของน้ำหนักให้กับองค์ประกอบ........ 65

4.6 สัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆของสารเคลือบตามการออกแบบแบบซิมเพล็กเล็กทิส........ 65

4.7 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวในสัดส่วนต่างๆ........ 66

4.8 คุณภาพของเส้นขนาดเล็กที่สุดของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้........ 67

4.9 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซิลิกา ดินขาวและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ในสัดส่วนต่างๆ........ 77

4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของค่าความขาว........ 79

4.11 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐาน ของค่าความขาว........ 81

4.12 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของค่าความขาว........ 82

4.13 สมบัติของสารเคลือบสำหรับสูตรสารเคลือบที่ดีที่สุด........ 85

4.14 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลอง........ 85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ซิลิกาเป็นสารสีที่เหมาะสำหรับใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ต เนื่องจากซิลิกาเป็นอนุภาคที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวสูงทำให้สารเคลือบผิวสามารถรับหมึกพิมพ์ได้ดีเหมาะสำหรับผลิตเป็นกระดาษเคลือบผิวชนิดผิวด้าน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีเพียงชนิดเดียวให้ความดำของงานพิมพ์ไม่สูงเท่ากับกระดาษที่เคลือบด้วยสารสีมากกว่าหนึ่งชนิด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการใช้ดินขาวเป็นสารสีร่วมกับซิลิกา จะให้สารเคลือบที่มีปริมาณของแข็งมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้รับหมึกได้ดีและมีความดำของหมึกพิมพ์มากขึ้น มีค่าความหนืดที่ดี ราคาถูกและง่ายต่อการเคลือบด้วยขดลวดเคลือบผิว และเนื่องจากสารเคลือบผิวมีองค์ประกอบหลายชนิด การเปลี่ยนแปลงปริมาณขององค์ประกอบแต่ละชนิดหรือหลายชนิดพร้อมกันในสารเคลือบจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่าง ๆ ของชั้นสารเคลือบได้แตกต่างกัน การประเมินผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านั้น สามารถทำได้อย่างเป็นระบบ ลดเวลาและลดการใช้สารเคมีลงได้โดยการใช้วิธีออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีซิมเพล็ก ซึ่งจะได้แบบจำลองแสดงผลกระทบขององค์ประกอบในสารเคลือบต่อสมบัติที่ต้องการศึกษาแต่ละชนิด ในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของซิลิกาจากเถ้าแกลบ (สารสีหลัก) ดินขาวนราธิวาส (สารสีร่วม) และพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (สารยึด) ต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพงานพิมพ์ซึ่งได้แก่ ความทึบแสง ความขาว ความขาวสว่าง ความหนืดของสารเคลือบ ความดำ และการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาและปรับปรุงสูตรของสารเคลือบเพื่อให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ยอมรับได้ และสร้างแบบจำลองเพื่อหาสูตรของสารเคลือบที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารเคลือบผิวกระดาษอิงค์เจ็ต ที่ใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ ดินขาวนราธิวาสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ให้มีคุณภาพงานพิมพ์เป็นที่ยอมรับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สูตรที่เหมาะสมของสารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ตที่มีซิลิกาจากเถ้าแกลบและดินขาวนราธิวาสเป็นสารสีและ มีคุณภาพงานพิมพ์เป็นที่ยอมรับ

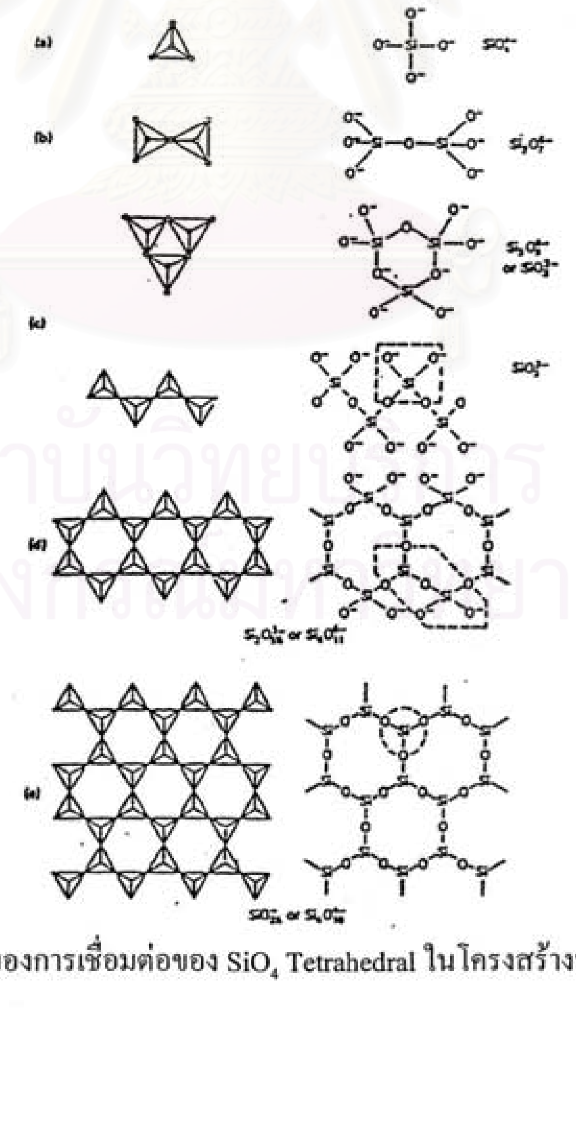
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)

2.1.1.1 โครงสร้างของซิลิกา

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)(1) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างซิลิกอนและออกซิเจน หน่วยย่อยพื้นฐานทางโครงสร้างของซิลิกาและเกลือซิลิเกตส่วนใหญ่เป็นการจัดเรียงตัวแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ของออกซิเจนสี่อะตอมล้อมรอบซิลิกอนซึ่งเป็นอะตอมกลาง โดยโครงสร้างของซิลิกาจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จบ (Infinite three dimentional network) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบต่าง ๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิเกต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1.2 ลักษณะของซิลิกา

ที่อุณหภูมิปกติซิลิกาเป็นสารที่ทนต่อสารเคมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้หลายรูปแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง มีหลายสภาวะที่ซิลิกาอสัณฐานมีความว่องไวกว่าซิลิกาชนิดผลึกแต่ความว่องไวของพื้นที่ผิวของซิลิกาชนิดผลึกมีมากกว่าของซิลิกาอสัณฐานเนื่องจากซิลิกาอสัณฐานมีพื้นที่ผิวของหมู่ไฮดรอกซิล (ซิลานอล) ซึ่งครึ่งหนึ่งของหมู่ไฮดรอกซิล จะยังคงอยู่แม้จะให้ความร้อนถึง 400°C

กรดทั่วไปไม่สามารถทำให้ซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะให้เป็นฟลูออโรซิลิเกตไอออน เช่น SiF_6^{2-} อัตราเร็วสำหรับการเปลี่ยนรูปแบบซิลิกาซึ่งละลายอยู่ในสารละลายฟลูออริกจะลดลงเมื่อซิลิกามีความหนาแน่น (ρ) มากขึ้น ลำดับความหนาแน่นเป็นดังนี้

วิเทรียส ซิลิกา (Vitreous silica) (ρ = 2.2 g/cm^3) < ไตรไดไมท์ (Tridymite) (ρ 2.22 g/cm^3) ≅ คริสโตแบไลท์ (Cristobalite) (ρ = 2.33 g/cm^3) < ควอทซ์ (Quartz) (ρ = 2.65 g/cm^3) และ โคไซท์ (Coesite) (ρ = 3.01 g/cm^3)

โคไซท์ไม่ละลายในสารละลายฟลูออริก ส่วนกรดฟอสฟอริกสามารถทำปฏิกิริยากับวิเทรียสซิลิกาได้ที่อุณหภูมิสูงเกิดเป็นผลึกของซิลิโกฟอสเฟต (Silico phosphate) การละลายของซิลิกาจะดีขึ้นในกรดฟอสฟอริกที่เจือจาง ควอทซ์และวิเทรียสซิลิกาเกิดปฏิกิริยาได้เล็กน้อยในสารละลายด่างที่อุณหภูมิห้อง และจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

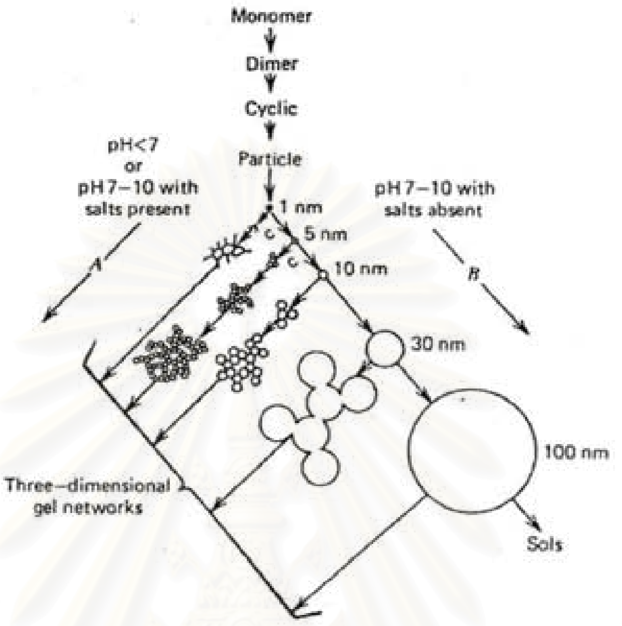
2.1.1.3 รูปแบบของซิลิกา

ซิลิกาอสัณฐาน (2) เป็นรูปแบบหนึ่งของซิลิกาชนิด Noncrystalline silica สามารถตรวจสอบโครงสร้างได้ด้วยวิธี X-ray diffraction

ซิลิกาอสัณฐาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ วิเทรียสซิลิกา เอ็มซิลิกา (Silica M) หรือ ซิลิกาชนิดผลึก (Crystalline silica) และพวกสุดท้ายคือ ซิลิกาอสัญฐานชนิดเล็ก (Microamorphous silica) ซึ่งรวมถึง โซล (Sols) ผงเจล (Gels powder) และ แก้วที่มีความพรุนสูง (Porous glasses) ซึ่งทั้งหมดมีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 1 μm และมีพื้นที่ผิวสูง โดยทั่วไปพื้นที่ผิวจะมากกว่า 3 m^2/g

ซิลิกาเป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ โดยการเกาะเกี่ยวของอนุภาคเชื่อมต่อกันจนเป็นโซ่และโครงตาข่าย กระบวนการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอนคือ พอ

ลิเมอไรเซชันของมอโนเมอร์เพื่อเกิดอนุภาค ขั้นที่สองคือขนาดของอนุภาคเติบโตขึ้น และขั้นตอนสุดท้ายคือ การเชื่อมต่อกันของอนุภาค เพื่อให้เกิดเป็นโซ่และโครงตาข่าย ดังรูปที่ 2.2

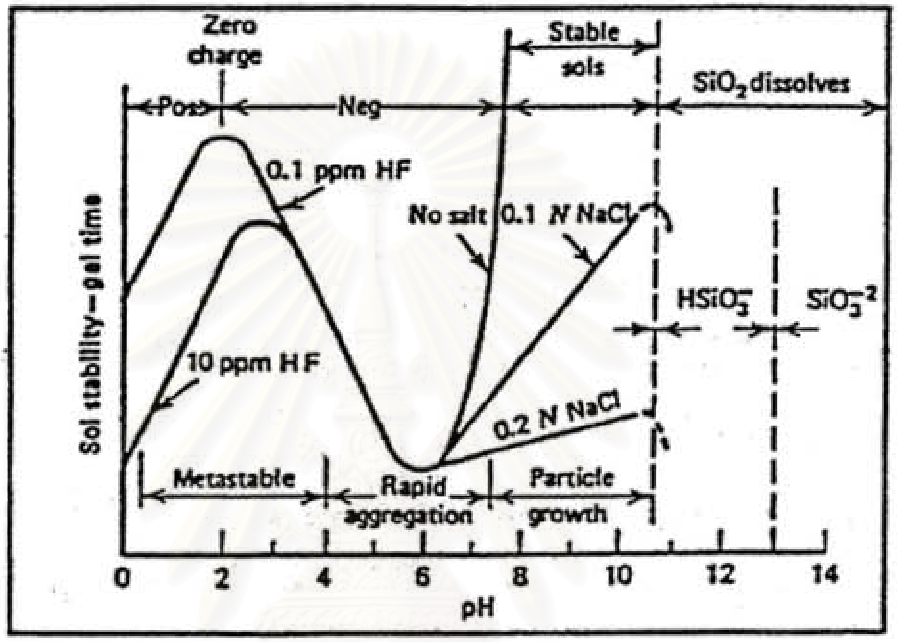


รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของซิลิกา ในสารละลายด่าง (B) อนุภาคของโซลมีขนาดเพิ่มขึ้น ในสารละลายกรดหรือเกลือ (A) อนุภาคเกิดการรวมกลุ่มเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติเกิดเป็นเจล (2)

หมายเหตุ : ในสารละลายด่าง (B) อนุภาคในโซลจะโตขึ้น ดังนั้นจำนวนจึงลดลง ในสารละลายกรดหรือใน floculating salts (A) พบว่าอนุภาคจะจับตัวเป็นโครงตาข่ายสามมิติแล้วจึงเกิดเป็นเจล

1) **ซิลิกาโซลและคอลลอยดอลซิลิกา** ซิลิกาโซลที่มีขนาดอนุภาคเป็นคอลลอยด์ของซิลิกาอสัณฐาน จะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในสารละลาย ซิลิกาโซลจะไม่เกิดเป็นเจลหรือตกตะกอนแม้ถูกทิ้งไว้เป็นเวลาหลายปี โซลมีซิลิกาอยู่มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไปและอนุภาคมีขนาดถึง 300 nm อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 70 nm จะเกิดการตกตะกอนอย่างช้า ๆ สถานภาพของโซลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย (รูปที่ 2.3) pH ของโซลจะต้องมากกว่า 7 จึงจะคงสภาพประจุกับขนาดอนุภาคซิลิกาทำให้ไม่กลับมาจับตัวและตกตะกอน ประจุที่ผิวจะถูกทำให้เป็นกลางได้โดยสารละลายเกลือซึ่งจะมีไอออนและทำให้เกิดดับเบิ้ลเลเยอร์รอบผิวของซิลิกา ทำให้เกิดการจับตัว ดังนั้นโซลจะเสถียรที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ ในบริเวณที่ pH ต่ำโซลจะอยู่ในสภาพ metastable การเกิดเจลและการจับตัวจึงถูกเร่งให้เกิดได้ง่ายแม้มีฟลูออไรด์เพียงเล็กน้อย ในบริเวณที่

pH ต่ำนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่รวมกับน้ำได้ เช่น แอลกอฮอล์จะต้านการเกิดเจล อย่างไรก็ตามการเกิดเจลจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ยิ่งปริมาณซิลิกาในโซลสูงการเกิดเจลก็ยิ่งง่าย ส่วนลักษณะผิวของอนุภาคซิลิกาก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการควบคุมเสถียรภาพของโซล



รูปที่ 2.3 ผลของ pH ของคอลลอยดอลซิลิกาในน้ำ (2)

2) ซิลิกาเจล แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติ ซึ่งเตรียมได้โดยการทำให้อยู่ในสภาพที่เป็นกรด จะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากและพื้นที่ผิวสูง (750-800 m^2/g) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.2-2.6 nm และ ปริมาตรรูพรุนประมาณ 0.37-2.40 ml/g Regular-density gel มีน้ำประมาณร้อยละ 6 น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ ดังนั้นจะดูดซับได้มาก ชนิดที่สองคือซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปานกลาง มีพื้นที่ผิวต่ำ (300-350 m^2/g) แต่มีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.9-1.1 ml/g ค่าเฉลี่ยของขนาดรูพรุนประมาณ 12-16 nm ขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติ ด้วยเหตุผลที่ซิลิกาชนิดนี้มีขนาดรูพรุนใหญ่ดังนั้นจึงดูดซับน้ำได้ดีที่ความชื้นสูง ชนิดสุดท้ายคือ ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นต่ำ เช่น Aerogel มีพื้นที่ผิวต่ำ 100-200 m^2/g และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน ประมาณ 18-22 nm และ ปริมาตรรูพรุนประมาณ 1.4-2.0 ml/g

3) ซิลิกาชนิดตกตะกอน (**Precipitated silica หรือ particulate silica**) เกิดจากการรวมตัวของซิลิกาขนาดเล็กระดับนาโนเมตรซึ่งยังไม่เชื่อมโยงจนเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ระหว่างกระบวนการเตรียม ซิลิกาชนิดตกตะกอน เกิดได้ทั้งในสภาวะที่เป็นไอ (Vapor phase) และโดยการตกตะกอนจากสารละลาย

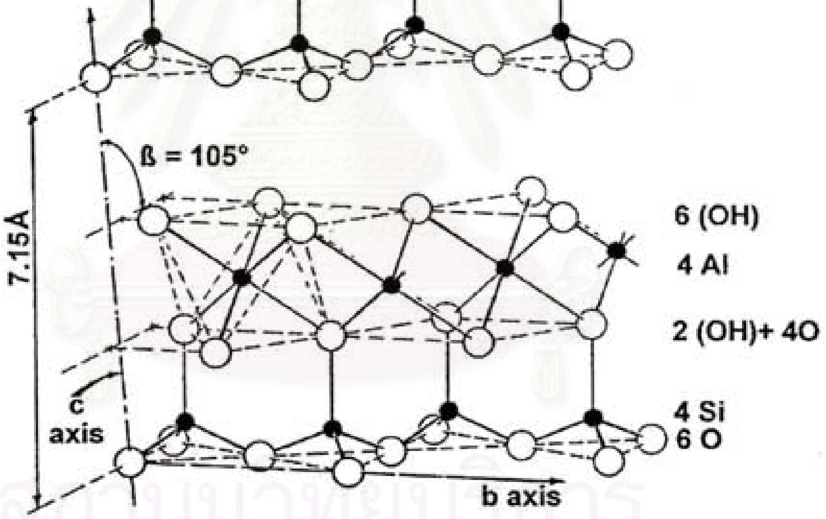
การนำซิลิกาอสัณฐานไปใช้นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบและความบริสุทธิ์ ที่ใช้มากคือเป็นแผ่นกรอง และวัสดุเสริมแรงสำหรับยาง นอกจากนี้ใช้เป็นสารปรับปรุงความสามารถในการอุ้มหมึก ใช้เป็น สารสีและฟิลเลอร์ (Filler) ในกระดาษ ใช้เป็นสีและสารเคลือบ สำหรับซิลิกาเจลนั้นส่วนมากจะใช้เป็นสารดูดความชื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 ดินขาว

2.1.2.1 การกำเนิดและการศึกษาเกี่ยวกับแร่

ดินขาวหรือคาโอลิน (Kaolin) (3) คือ แร่ดินธรรมชาติที่ประกอบขึ้นด้วย คาโอลิไนท์ (Kaolinite) บริสุทธิ์ ซึ่งตามธรรมชาติจะมีสีขาว โครงสร้างของคาโอลิไนท์ ประกอบด้วยชั้นของอะตอม 2 ชั้น คือ ชั้นของอะลูมิเนียมไดออกไซด์ที่มีการจัดเรียงตัวแบบทรงแปดหน้า (Octahedral) โดยมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) แยกอะตอมของอะลูมิเนียมออกจากกัน และชั้นของซิลิกาที่มีการจัดเรียงตัวแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedral) โครงสร้างผลึกของอลูมิเนียมซิลิเกตถูกสร้างขึ้นโดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างออกซิเจนในชั้นของซิลิกาและหมู่ไฮดรอกซิลในชั้นของอลูมิเนียมออกไซด์ การจัดเรียงตัวของอะตอมในหนึ่งหน่วยเซลล์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของคาโอลินไนท์คือ $(OH)_8Si_4Al_4O_{10}$ โดยมี SiO_2 ร้อยละ 46.54 มี Al_2O_3 ร้อยละ 39.50 และมี H_2O ร้อยละ 13.96



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของคาโอลิไนท์ (Kaolinite)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินขาว

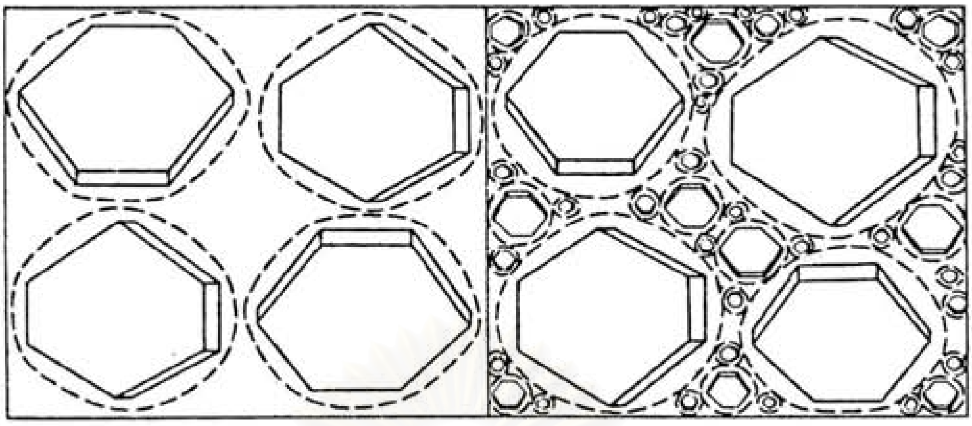
คาโอลินมีสีขาว อนุภาคมีขนาดเล็ก รูปร่างเป็นแผ่นแบน เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี สมบัติทางกายภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของดินขาวจอร์เจีย

ความถ่วงจำเพาะ	2.62
ดัชนีหักเห	1.57
ความแข็ง (Mohs)	1.5-2
อุณหภูมิหลอมเหลว (^{o}C)	1850
ความขาวสว่าง (ที่ 457 นาโนเมตร)	75-91

ในทางเคมี ดินขาวหรือคาโอลิน คือ ไฮเดรทอะลูมิเนียมซิลิเกต (hydrated aluminum silicate) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีส่วนใหญ่ของดินขาวคือการรับเหล็ก (Iron) และไทเทเนียม (Titanium) เอาไว้ โดยเหล็กและไทเทเนียมจะทำให้สีของดินขาวเปลี่ยนไปในเฉดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแดง สารละลายเหล็กสามารถถูกสกัดออกได้โดยกรดซัลฟูริก (Sulfuric) หรือโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์(Sodium hydrosulfite) สำหรับไทเทเนียมสามารถถูกสกัดโดยวิธีอัลตราโฟลเตชั่น (Ultraflotation)

ดินขาวมีขนาดอนุภาคเล็ก รูปร่างของอนุภาคเป็นแผ่นแบนเรียบ เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี พื้นที่ผิวของดินขาวอยู่ระหว่าง 7 m^2/g ถึง 30 m^2/g ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค การกระจายตัวของขนาดอนุภาค สัดส่วนระหว่างความหนาต่อความกว้างของอนุภาค (aspect ratio) และโครงสร้างของอนุภาค การวัดองค์ประกอบทางกายภาพ คือ ปัจจัยซึ่งมีนัยสำคัญที่มีผลกระทบกับพฤติกรรมของคาโอลินในสารเคลือบผิว ตัวอย่างของการกระจายตัวของอนุภาคสำหรับดินขาวที่ใช้เป็นฟิลเลอร์ (Filler) และสารเคลือบผิวแสดงดังรูปที่ 2.5 ความแตกต่างระหว่างดินขาวทั้ง 2 ชนิดคือ ร้อยละของความเป็นแผ่นราบ (Platelets) และความเป็นชั้น (Stacks) สำหรับดินขาวที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวร้อยละของความแผ่นราบจะอยู่ระหว่าง ร้อยละ 75 ถึงร้อยละ 90



รูปที่ 2.5 การกระจายตัวของอนุภาคสำหรับดินขาวที่ใช้เป็นฟิลเลอร์และสารเคลือบ

2.1.2.3 ความขาวสว่างของสารเคลือบดินขาว (Brightness of coating clay)

การทดสอบความขาวสว่างของสารเคลือบได้รับการพัฒนาโดย The Institute of Paper Chemistry in cooperation with General Electric (GE) ซึ่งมีการปรับปรุงให้เหมาะสมและนำมาใช้โดย TAPPI ตามมาตรฐานแล้วค่าความขาวสว่าง คือการสะท้อนแสง (Reflectance) ที่ 457 นาโนเมตร

ความขาวสว่างของดินขาวในขณะแห้งจะไม่สัมพันธ์กับความขาวสว่างขณะเป็นสารเคลือบผิวของกระดาษ ความขาวสว่างของดินขาวที่แตกต่างกัน 1 จุด (ตามมาตรฐาน TAPPI (T646-73) อาจจะส่งผลเล็กน้อย (ร้อยละ 0.2 หรือน้อยกว่า) ต่อความขาวสว่างของชั้นสารเคลือบ

2.1.2.4 ขนาดอนุภาค (Particle size of coating clay)

การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญต่อพฤติกรรมของชั้นสารเคลือบ คือจะส่งผลต่อความหนืด ความขาวสว่าง ความทึบแสง ความมันเงา และการรับหมึกของชั้นสารเคลือบ ดินขาวจะมีรูปร่างของอนุภาคเป็นชั้นคล้ายหนังสือ (booklet)

2.1.2.5 สมบัติของกระดาษเคลือบผิวที่ได้รับผลกระทบโดยดินขาว

ความขาวสว่างของดินขาวมีผลกระทบต่อความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิวเพียงเล็กน้อย คือความขาวสว่างของดินขาวที่แตกต่างกันหนึ่งจุดจะส่งผลเพียง ร้อยละ 0.2 หรือน้อยกว่าในความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิว โครงสร้างของชั้นเคลือบผิวมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญมากต่อความขาวสว่าง เนื่องจากการกระเจิงแสงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของดัชนีหักเหระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของสารเคลือบ จึงเป็นความสำคัญที่ต้องมีช่องว่างที่เพียงพอระหว่างอนุภาคดินขาวในชั้นสารเคลือบ และการมีจำนวนของสารยึดมากเกินไปจะทำให้ความขาวสว่างลดลง

การจัดเรียงตัวและปริมาณช่องว่างของอนุภาคดินขาวมีอิทธิพลสูงต่อความทึบแสงของชั้นสารเคลือบและความขาวสว่าง ขนาดของอนุภาค การกระจายตัวของขนาดอนุภาค และสัดส่วนระหว่างความหนาต่อความกว้างของอนุภาคเป็นสมบัติที่สำคัญซึ่งควบคุมความทึบแสง การเพิ่มขึ้นของปริมาตรรูพรุนเป็นผลดีสำหรับความทึบแสง การที่สารยึดเข้าไปแทนที่ในพื้นที่ว่างของอนุภาคทำให้ความทึบแสงลดลง

ความมันเงาของกระดาษเคลือบผิว ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปแล้วว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดอนุภาคของดินขาว คืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีความมันเงาสูงกว่า ในบางกรณีการพิจารณาถึงความมันเงาก็จะขึ้นอยู่กับบดอนุภาคให้ละเอียดหรือการขจัดอนุภาคขนาดใหญ่ออก การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคจะทำให้อนุภาคกระจายตัวได้น้อยส่งผลให้ความมันเงาต่ำลง อนุภาคขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่สมบูรณ์จะให้ค่าความมันวาวสูงที่สุด ระดับของสารยึดที่เพิ่มขึ้นทำให้ความมันเงาต่ำลง

ความสามารถในการรับหมึกแตกต่างกันมากระหว่างสารเคลือบที่ใช้ดินขาวต่างชนิดกัน ความสามารถในการรับหมึกจะสัมพันธ์กับความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นฟิล์ม ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากปริมาตรรูพรุน อนุภาคดินขาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (randomly oriented) จะให้การรับหมึกที่ดี การรับหมึกของสารเคลือบจะได้รับอิทธิพลอย่างมากจากปริมาณของสารยึด

2.1.3 พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (PVOH)

กระดาษอิงก์เจ็ตโดยทั่วไปจะเป็นกระดาษเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีหลัก ซึ่งซิลิกานี้จะมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 50 m^2/g ถึง 700 m^2/g และมีความสามารถในการดูดซับสูง จึงจำเป็นต้องใช้สารยึดในปริมาณที่เพียงพอ สารยึดที่ใช้ในสารเคลือบถ้าไม่มีพลังในการยึดติดเพียงพอและมีปริมาณไม่มากพอจะก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นผง ส่งผลให้คุณภาพทางการพิมพ์ที่แย่ลง (4)

2.1.3.1 สมบัติทางเคมีและกระบวนการผลิต

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งเม็ดเล็ก ๆ สีขาว ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำร้อน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้รับการผลิตขึ้นโดยมีพอลิไวนิลอะซิเตทเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้น จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันผ่านอนุมูลอิสระของไวนิลอะซิเตต พอลิไว-นิลอะซิเตทถูกไฮโดรไรซ์เป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยา Base-catalyzed saponification น้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ถูกควบคุมผ่านลำดับขั้นของกระบวนการพอลิเมอไรเซ-ชัน และโดยทั่วไปจะผลิตออกมาในช่วงของความหนืดสารละลายร้อยละ 4 ความหนืดสามารถแบ่งออกได้เป็น ultralow, low, medium และ hight ระดับสำหรับไวนิลอะซิเตตที่ถูกเปลี่ยนเป็นไวนิล-แอลกอฮอล์จะสัมพันธ์กับร้อยละของการไฮโดรไลซิส และถูกควบคุมผ่านปฏิกิริยา saponification ร้อยละของการไฮโดรไลซิสจะแบ่งออกเป็น Super hydrolyzed (การเปลี่ยนไวนิลอะซิเตตเป็นไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 93 ขึ้นไป) Fully hydrolyzed (ร้อยละ 98.0 - 98.8) Intermediate hydrolyzed (ร้อยละ 91.0-96.5) และPartially hydrolyzed (ร้อยละ 87.0-89.0) (4)

สำหรับสารเคลือบผิวกระดาษอิงก์เจ็ต น้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์จะควบคุมพลังในการยึดติดสำหรับสารสี และควบคุมการไหลของสารเคลือบ ร้อยละของการไฮโดรไลซิสก็มีส่วนในการควบคุมการยึดติดและการไหลแต่ส่งผลน้อยกว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีร้อยละการไฮโดรไลซิสต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

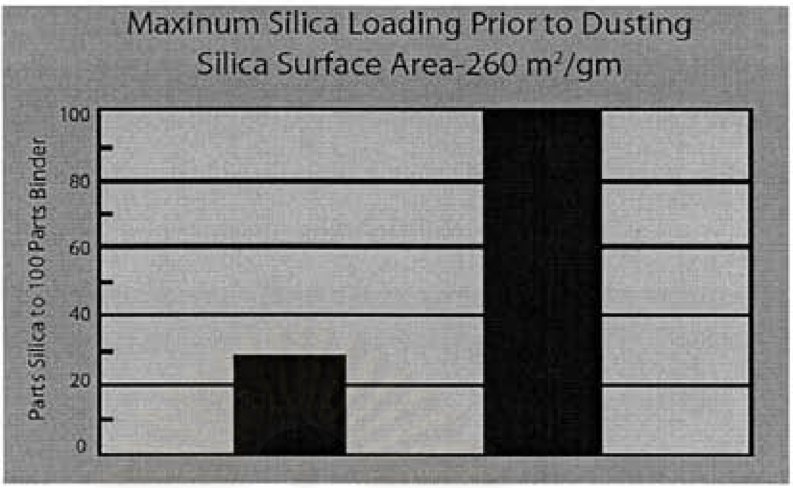
ตารางที่ 2.2 ชนิดของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่มีร้อยละการไฮโดรไลซิสต่างกัน

Celvol Poyviny Alchol Produc Line			
STANDARD GRADES			
Grade	Hydrolysis, %	Viscosity, cps[1]	pH[2]
Super Hydrolyzed			
Celvol 125	99.3+	28 – 32	5.5 – 7.5
Celvol 165	99.3+	62 – 72	5.5 – 7.5
Fully Hydrolyzed			
Celvol 103	98.0 - 98.8	3.5 – 4.5	5.0 – 7.0
Celvol 305	98.0 - 98.8	4.5 – 5.5	5.0 – 7.0
Celvol 107	98.0 - 98.8	5.5 – 6.6	5.0 – 7.0
Celvol 310	98.0 - 98.8	9.0 – 11.0	5.0 – 7.0
Celvol 325	98.0 - 98.8	28.0 – 32.0	5.0 – 7.0
Celvol 350	98.0 - 98.8	62.0 – 72.0	5.0 – 7.0
Intermediate Hydrolyzed			
Celvol 418	91.0 – 93.0	14.5 – 19.5	4.5 – 7.0
Celvol 425	95.5 – 96.5	27.0 – 31.0	4.5 – 6.5
Partially Hydrolyzed			
Celvol 502	87.0 – 89.0	3.0 – 3.7	4.5 – 6.5
Celvol 203	87.0 – 89.0	3.5 – 4.5	4.5 – 6.5
Celvol 205	87.0 – 89.0	5.2 – 6.2	4.5 – 6.5
Celvol 513	87.0 – 89.0	13.0 -15.0	4.5 – 6.5
Celvol 523	87.0 – 89.0	23.0 – 27.0	4.5 – 6.0
Celvol 504	87.0 – 89.0	45.0 – 55.0	4.5 – 6.0
[1] 4% aqueous solution, 20 °C			
[2] 4% aqueous solution			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่แนะนำสำหรับสารเคลือบผิวอิงก์เจ็ตคือ ชนิด Fully hydrolysised ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง ซึ่งจะให้ความสามารถในการยึดติดที่ดีสำหรับซิลิกา และจะให้ค่าความดำที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Starch

พอลิไวนิลอัลกอฮอล์เป็นสารยึดที่มีพลังในการยึดติดสูงขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล การใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะลดระดับของการใช้สารยึดในสูตรสารเคลือบลงได้โดยไม่เกิดปัญหาฝุ่นผงที่ผิวหน้า



รูปที่ 2.6 สัดส่วนของซิลิกาที่ใส่สูงสุดก่อนจะเกิดปัญหาฝุ่นผง

2.1.3.2 ความดำของงานพิมพ์

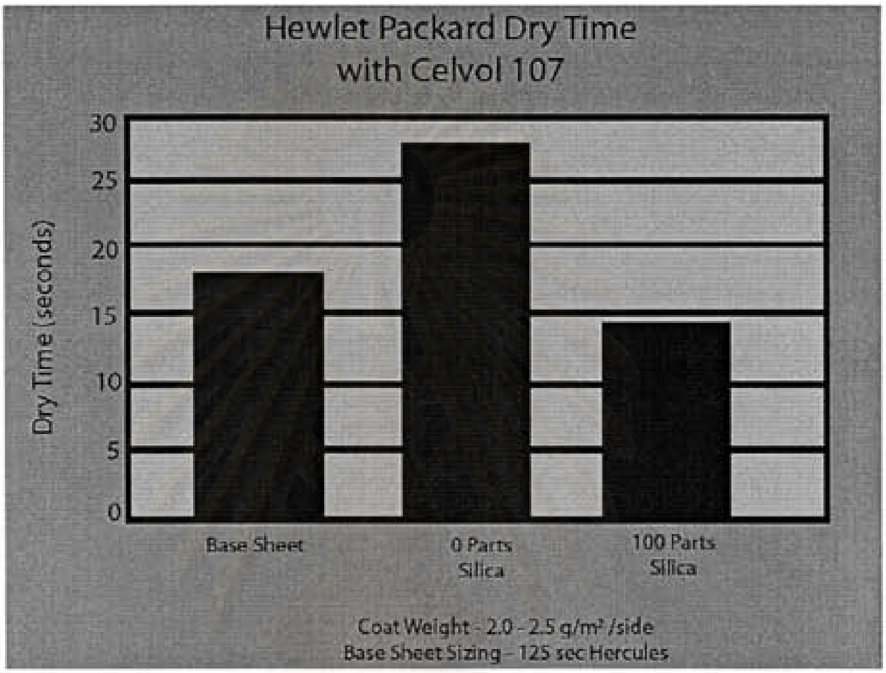
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถให้ค่าความดำของสีดำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความดำของงานพิมพ์ที่สารเคลือบใช้ Starch เป็นสารยึด พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิด Fully hydrolysised จะให้ค่าความดำที่ดี สำหรับสีดำสีเดียวและสีดำที่เกิดจากการผสม ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวที่ใช้สารยึดในสารเคลือบผิวเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และStarch

Test Results			
		Optical Density	
Treatment (coat wt. g/m2/side)	Hercules Sizing	Monochorome Balck	Composite Black
Base Sheet	1 second	0.94	0.65
Celvol 107 (1.2)	5.5	1.04	0.81
Celvol 325 (2.7)	57.0	1.30	1.01
Starch (1.9)	2.0	0.98	0.74

2.1.3.3 เวลาของการแห้งตัว

การเคลือบผิวโดยใช้เฉพาะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยปราศจากการเติมซิลิกาเป็นสารสีทำให้เวลาในการแห้งตัวสูงขึ้น รูปที่ 2.7 แสดงการใช้ซิลิกา 100 ส่วนทำให้เวลาในการแห้งตัวของพอลิไวนิลอัลกอออล์ลดลงเมื่อเคลือบไปบนผิวหน้ากระดาษ



รูปที่ 2.7 เวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวเมื่อมีซิลิกา 0 และ 100 ส่วน

2.1.3.4 การใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเท็กซ์

สารเคลือบที่ใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์เป็นสารยึดจะให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดี เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะดูดซึมหมึกพิมพ์ฐานน้ำเข้าไปในชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว การดูดซึมหมึกได้อย่างรวดเร็วนี้ทำให้สามารถลดการเกิดเป็นรอยจ้ำของหมึก (mottle) และ การซึมเข้าหากันของหมึก (bleeding) ซึ่งเป็นปัญหาทางการพิมพ์ลงได้ สูตรของสารเคลือบที่ใช้ลาเท็กซ์เป็นสารยึดและใช้ซิลิกาเป็นสารสีจะให้งานพิมพ์ที่เกิดปัญหารอยจ้ำของหมึก และค่าความดำต่ำ ผลที่ไม่พึงปรารถนานี้มีสาเหตุจากจาก surfactants ที่ใส่ไปเพื่อสร้างเสถียรภาพให้กับอนุภาคของลาเท็กซ์จะไปรบกวนการเปียกผิวของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต ทำให้หมึกพิมพ์ไม่สามารถถูกดูดซึมไปยังชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว

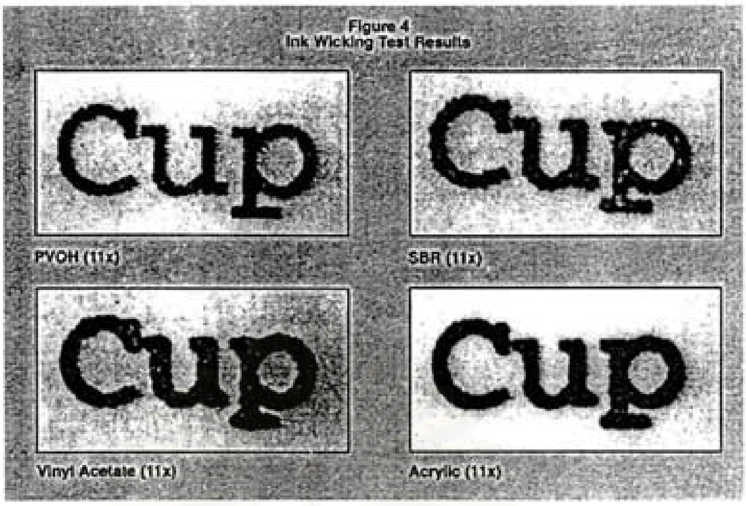
ตารางที่ 2.4 แสดงความดำของหมึกพิมพ์ของสีดำสีเดียว สีดำที่เกิดจากการผสมและสีฟ้า บนกระดาษเคลือบผิวที่ใช้ลาเท็กซ์เป็นสารยึด 3 ชนิด เปรียบเทียบกับการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด จากรูปที่ 2.8 แสดงปัญหาการเกิด wicking สำหรับสารเคลือบที่ใช้สารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเท็กซ์

ตารางที่ 2.4 ค่าความดำของหมึกพิมพ์ของสีดำสีเดียว สีดำที่เกิดจากการผสมและสีฟ้า บนกระดาษเคลือบผิวที่ใช้ลาเท็กซ์เป็นสารยึด 3 ชนิด เปรียบเทียบกับการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด

Ink Jet Analysis of Coated Papers
100 Parts Silica/30 Pars Binder

	Base Sheet	Celvol 523 PVOH	Acrylic	Vinyl Actetate	SBR
Solution Solids	N/A	11.56	12.85	12.52	17.11
Viscosity (cps)	N/A	112	310	215	267
Coat Weight (g/m^2/side)	N/A	6.64	8.64	7.09	8.01
Monochrome Black O.D.	0.96	1.32	0.88	0.88	0.79
Composite Black O.D.	0.64	0.92	0.62	0.61	0.74
Cyan O.D.	1.07	1.44	1.26	1.25	1.10
Composite Black Dot Area(mm^2)	0.0238	0.0094	0.0150	0.0159	0.0267

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 การเกิด wicking สำหรับสารเคลือบที่ใช้สารยึดเป็นพอลิไวนิลอัลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเท็กซ์

2.1.3.5 ความหนืดและการไหล

ความหนืดของสารเคลือบที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีและใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อเพิ่มปริมาณของซิลิกาเพียงเล็กน้อยโดยความหนืดจะขึ้นอยู่กับพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิวแอลกอออล์ และหมู่ซิลิกอนของสารสี ร้อยละของของแข็งสูงสุดอยู่ที่ ร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 30 ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึด พอลิไวนิลแอลกอออล์ชนิดที่มีร้อยละการไฮโดรไลซีสสูง มีแนวโน้มจะให้ความหนืดสูงกว่าที่สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดเท่ากัน

2.1.3.6 กำลังการยึดติดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

แม้ว่าการใช้พอลิไวนิลแอลกอออล์ชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเป็น Partially hydrolyzed จะสามารถใช้เตรียมสารเคลือบที่ร้อยละของแข็งสูง ๆ ได้แต่มีความแข็งแรงต่อการยึดติดสารสีซิลิกาต่ำเมื่อเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ด้วยเหตุนี้หากใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์น้ำหนักโมเลกุลต่ำจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มากขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดฝุ่นของซิลิกาจากพื้นผิวของแผ่นกระดาษ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ซีเอ็มซี)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารในกลุ่มเซลลูโลสอีเทอร์ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ละลายน้ำได้ มีการผลิตขึ้นโดยใช้เซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น และจำแนกไปตามชนิดของการแทนที่ค่า Degree of substitution (D.S) โครงสร้างทางกายภาพ ความหนืด และพฤติกรรมการละลาย เซลลูโลสอีเทอร์ที่มีการผลิตและจัดจำหน่ายอยู่ทั่วไปมีหลายชนิดที่สำคัญมากตัวหนึ่งคือ ซีเอ็มซี(5) โดยขั้นตอนการผลิตจะถูกแบ่งออกเป็น 2 เกรด คือ เกรดบริสุทธิ์กับเกรดทางเทคนิก ซีเอ็มซีสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเยื่อเซลลูโลสที่มีอัลฟาเซลลูโลสอยู่ในปริมาณสูงกับ etherifying agent ในภาวะที่มีด่าง

2.1.4.1 สมบัติของซีเอ็มซี

2.1.4.1.1 การละลาย

ซีเอ็มซีสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่จะละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่เข้ากับน้ำได้เช่น เอทานอล อะซีโตน ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของซีเอ็มซีได้แก่

1) ขนาดของอนุภาค ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่จะทำให้ละลายได้ช้า การกระจายตัวในน้ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ อนุภาคที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดมากขึ้นจะช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมสารละลาย

2) โครงสร้างทางเคมี ถ้ามีค่า D.S. สูงจะสามารถละลายได้เร็วและถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อัตราการละลายจะเร็วกว่า

2.1.4.1.2 ความหนืด

สารละลายซีเอ็มซีมีลักษณะใสและหนืด โดยมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบนอน-นิวโตเนียน คือค่าความหนืดจะเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนอัตราเฉือน (Shear rate) ซึ่งค่าความหนืดของสารละลายที่วัดได้นั้น จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลปัจจัยต่อไปนี้

1) ค่า D.P. (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสโดยปกติมีค่าประมาณ 5,000 ยิ่งเซลลูโลสมีค่า D.P. สูง ความหนืดของซีเอ็มซีจะยิ่งสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ความเข้มข้น เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นค่าความหนืดจะสูงขึ้น

3) อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของสารละลายจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจะไม่มีผลอย่างถาวรต่อลักษณะของสารละลาย แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่สารละลายเป็นเวลานานอาจทำลายโครงสร้างของซีเอ็มซี และทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงได้

4) ความเป็นกรด-เบส สารละลายซีเอ็มซีจะมีเสถียรภาพและมีความหนืดสูงที่สุดที่ pH ระหว่าง 7-9 ถ้า pH ต่ำกว่า 4 ซีเอ็มซีที่อยู่ในรูปของกรดอิสระซึ่งละลายน้ำได้น้อยจะมีมากขึ้นและทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น แต่ที่ pH มากกว่า 10 พบว่าค่าความหนืดจะลดลงเล็กน้อย

5) การใช้ตัวทำละลายผสม เมื่อใช้ตัวทำละลายผสม เช่น กลีเซอรอล-น้ำ สำหรับการเตรียมสารละลายซีเอ็มซีที่มีค่า D.S. สูงพบว่าความหนืดของตัวทำละลายจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายด้วย เช่น สารละลายซีเอ็มซีที่ใช้ตัวทำละลายผสมกลีเซอรอล-น้ำ ในอัตราส่วน 60:40 จะมีความหนืดเป็น 10 เท่าของสารละลายซีเอ็มซีในน้ำ

2.1.4.1.3 เสถียรภาพ (Stability)

แม้ว่าสารละลายซีเอ็มซีจะมีเสถียรภาพดีกว่ากาวชนิดอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ แต่สมบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดก็อาจถูกทำลายได้ เนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอมไซม์ เซลลูเลสจากจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ออกซิเจน เป็นต้น

2.1.4.1.4 ความสามารถในการเกิดฟิล์ม

ซีเอ็มซีสามารถเกิดเป็นฟิล์มแข็งแรง และมีความทนทานต่อน้ำมัน โดยฟิล์มซีเอ็มซีจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ไขมัน และตัวทำละลายอินทรีย์

2.1.4.1.5 ความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต

จากการศึกษาทางด้านพิษวิทยา ไม่พบว่าซีเอ็มซีเป็นพิษต่อร่างการมนุษย์และสัตว์รวมทั้งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยที่สุด

ตัวอย่างคุณลักษณะของซีเอ็มซีที่มีการผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายสู่อุตสาหกรรม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะของซีเอ็มซีสำหรับการประยุกต์ในงานต่างๆ (Thai Cellulose Products Ltd.)

Character Type	ร้อยละ ความบริสุทธิ์	D.S.	ช่วงความหนืด (mPa.s)	ความเป็นกรด-เบส	ความชื้น (%,max)
D	50-72	0.45-0.70	10-50	7-10	8
W	60-98	0.14-1.40	10-500	9-11	8
T	80-98	0.14-1.40	10-3000	6-8	8
F	99.5	0.45-1.40	10-4500	6-8	8
P	99.5	0.45-1.40	10-4500	6-8	8

หมายเหตุ D สำหรับอุตสาหกรรม ซักรีด สารซักฟอก

W สำหรับอุตสาหกรรม การขุดเจาะน้ำมัน

T สำหรับอุตสาหกรรม สิ่งทอ สี เซรามิก กาว

F สำหรับอุตสาหกรรม อาหาร เครื่องดื่ม ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์นม

P สำหรับอุตสาหกรรม ยา และเครื่องสำอาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5 สารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต (Ink jet coating)

2.1.5.1 สูตรน้ำยาสารเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ต

ในสูตรน้ำยาสารเคลือบประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน (6)คือ

1) สารสี(Pigment) เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำยาเคลือบผิวกระดาษ มีสมบัติในการเพิ่มพื้นที่ผิวการพิมพ์ให้ดีขึ้น ทำให้กระดาษเรียบและรับหมึกได้ดี ทำให้เกิดความมันวาวและทำให้กระดาษขาว สารสีมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ดินขาว ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ผงสีที่นิยมใช้ในสูตรของน้ำยาสารเคลือบอิงก์เจ็ต เป็นผงสีประเภท ซิลิกาอสัณฐาน

2) สารยึด (Binder) ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างสารสีกับสารสีและสารสีกับฐานกระดาษ เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องฝุ่นบนกระดาษ (Dusting) นอกจากนี้สารยึดยังมีส่วนช่วยในด้านการดูดซึมสารละลายของหมึกพิมพ์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบฐานน้ำ ทำให้คุณภาพของงานพิมพ์ดีขึ้น เช่น พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ คาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลส ปกติแล้วสารตัวนี้จะถูกใช้เป็นสารยึดร่วม (Co-binder) เพื่อเพิ่มการยึดติดได้ดีขึ้น

3) สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้สารเคลือบผิวมีสมบัติดีขึ้น เหมาะสำหรับการเคลือบผิวกระดาษมากยิ่งขึ้น

3.1) สารช่วยกระจาย (Dispersant) ช่วยให้สารสีกระจายตัวไม่จับกันเป็นก้อนเป็นสารจำพวก โซเดียมพอลิอะคริเลต เตตระโซเดียมพอลิฟอสเฟสเฟต เป็นต้น

3.2) สารปรับความหนืด (Viscosity modifier) สารปรับความหนืด ทำหน้าที่ชะลอหรือเพิ่มความหนืดของสารเคลือบผิว โดยพิจารณาจากความเร็วของเครื่องเคลือบผิว

3.3) สารหล่อลื่น (Lubricant) ใช้เพื่อปรับสมบัติการไหลของสารเคลือบและควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการกวน ช่วยในเรื่องของความเรียบและป้องกันการแตกหักของชั้นเคลือบผิวเมื่อหักงอ รวมทั้งช่วยให้สภาพการเดินกระดาษคล่องตัวขึ้น ส่วนใหญ่เป็นสารพวกแคลเซียมสเตียเรต พอลิเอทิลีนอิมัลชัน เป็นต้น

3.4) สารกันน้ำ (Crosslinker or insolubilizer) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่สารจำพวก ยูเรียฟอมาลดีไฮด์เรซิน แอมโมเนียมเซอร์โคเนียมคาร์บอเนต เป็นต้น

3.5) สารช่วยป้องกันเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อรา (Biocide or biostat) เช่น อัลดีไฮด์ เป็นต้น

3.6) สารควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส (pH control)

3.7) สารเพิ่มความขาวสว่าง (Optical brighteners) ช่วยดูดซับแสงยูวีและเพิ่มความขาวสว่างของสารเคลือบผิว

3.8) สีย้อม (Dye) ใช้เพื่อให้สังเกตด้านเคลือบผิวได้ชัดเจน

3.9) สารลดฟอง (Defoamer) ใช้เพื่อยับยั้งหรือป้องกันไม่ให้เกิดฟองในสารเคลือบในขณะกวน

2.1.5.2 ผลของสูตรน้ำยาสารเคลือบที่มีต่อสมบัติกระดาษเคลือบผิว

สมบัติของกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารสี ขึ้นกับสารเคลือบโดยตรงซึ่งสารเคลือบที่มีสารสีเป็นส่วนประกอบนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงแสง ช่วยในกระบวนการสุดท้ายในการในการปรับแต่งกระดาษเคลือบผิว และสภาพพิมพ์ได้ สมบัติเชิงแสง เช่น ความขาวสว่างและความทึบแสง ขณะที่การเคลือบเงาช่วยปรับปรุงค่าความมันวาวและความเรียบ และสภาพพิมพ์ได้เกี่ยวข้องกับ การต้านทานการถอนผิว ความสามารถในการรับหมึก และการอุ้มหมึก ส่วนความสามารถในการหยุ่นตัวของกระดาษและความพรุนของอนุภาคสารสี ขึ้นกับวัตถุดิบที่เตรียมได้ (Raw stock) มากกว่าสมบัติของสารเคลือบ(3)

2.1.5.2.1 สมบัติเชิงแสงของกระดาษเคลือบผิว

ความขาวสว่างและความทึบแสง ขึ้นกับสมบัติของสารสีและสารยึดและสภาวะในการเตรียมสารเคลือบ สมบัติของสารสีได้แก่ ความขาวสว่าง ดรรชนีหักเห รูปร่างของอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ความถ่วงจำเพาะและการทำปฏิกิริยาที่ผิวสารสี

ความทึบแสงสัมพันธ์กับค่าดรรชนีหักเหที่แตกต่างกันระหว่างสารสีและสารยึดที่สารสีกระจายตัวอยู่ สารสีที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงจะให้ค่าความทึบแสงสูง

รูปร่างอนุภาค ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารสี มีอิทธิพลต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคและความเข้มข้นโดยปริมาตรของสารสีในชั้นสารเคลือบผิว การจัดเรียงตัวของสารสีกับปริมาตรและขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นปัจจัย

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (Scattering coefficient) และความทึบแสงของสารสี การจัดเรียงตัวและช่องว่างของอนุภาคที่เหมาะสมนั้นเกิดขึ้นได้ยาก การกระจายตัวของสารสีที่เหมาะสมทำได้โดยการใช้สารยึดให้น้อยลง ใช้ปริมาณของแข็งสูงและให้มีการเคลื่อนที่ของสารเคลือบอย่างช้า ๆ สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคในชั้นสารเคลือบ การทำปฏิกิริยาที่ผิวสารสีเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงและความหนาของ Double layer รอบอนุภาคสารสีและมีผลต่อช่องว่างอนุภาค โดยสารเคลือบที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ จะให้ความทึบแสงและสภาพพิมพ์ได้ดี

การใช้สารสีหลายชนิดร่วมกันทำให้เกิดการปรับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เช่นเดียวกับสมบัติทางเคมีและรูปร่างของอนุภาค

2.1.5.2.2 สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษเคลือบผิว

สารสีในสารเคลือบเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมสภาพพิมพ์ได้ สารสีต้องเปียกผิวโดยหมึกพิมพ์ได้ง่าย และชั้นของสารสีต้องมีรูพรุนเพียงพอในการดูดซึมหมึกพิมพ์ได้รวดเร็ว การเซ็ตตัวของหมึกพิมพ์อย่างรวดเร็วนั้นชั้นของสารเคลือบต้องไม่ดูดซึมหมึกมากเกินไป เพราะจะทำให้ความมันวาวของชั้นหมึกพิมพ์ลดลงแก้ไขโดยการใช้ปริมาณหมึกพิมพ์ให้มากขึ้น แต่อาจเกิดการซึมทะลุของหมึกพิมพ์ไปอีกด้านของกระดาษได้ ปัญหานี้แก้ได้โดยใช้สารสีที่เป็นดินขาว การเพิ่มความสามารถในการรับหมึก ทำได้โดยการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตหรือไทเทเนียมไดออกไซด์ ลงไปในสารเคลือบทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนมากขึ้น การเลือกสารสีและสารยึดที่เหมาะสมก็จะสามารถผลิตสารเคลือบที่เหมาะสมกับการพิมพ์ทุกระบบได้

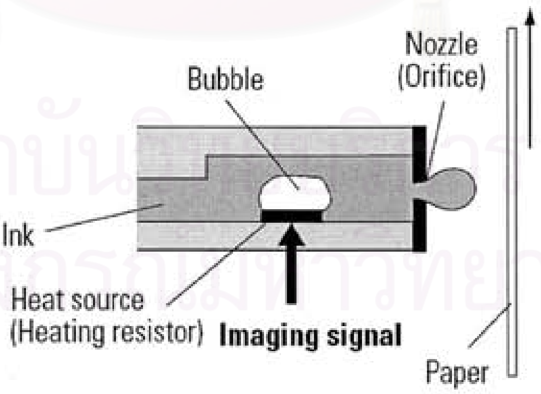
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.6 การพิมพ์อิงก์เจ็ต (Ink jet printing)

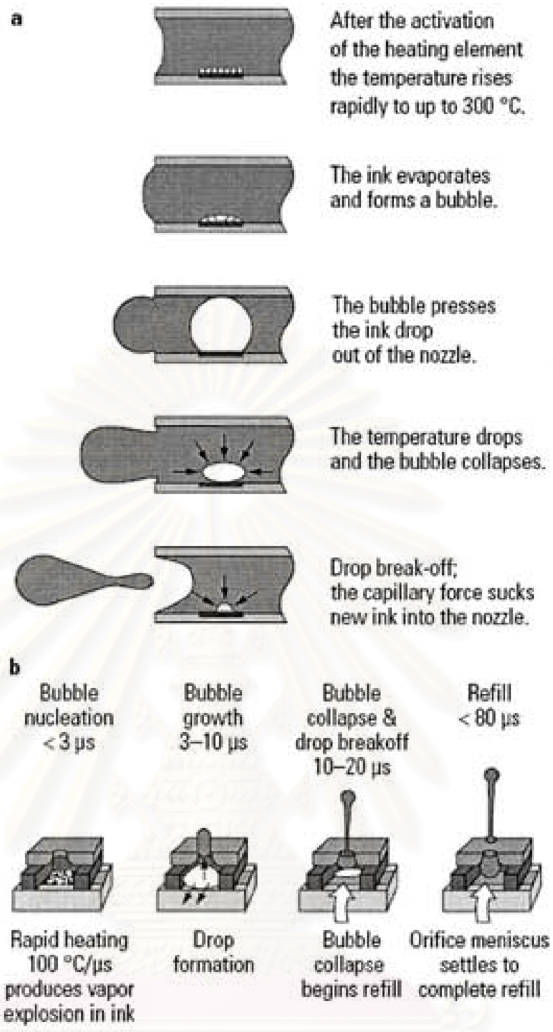
การพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นการพิมพ์ดิจิทัลระบบไร้สัมผัส (Non-impact printing) ซึ่งหมึกพิมพ์จะถูกพ่นออกจากหัวฉีด(Nozzle) อย่างต่อเนื่องและรวดเร็วลงบนวัสดุพิมพ์ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์(7)

เครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตสร้างภาพโดยการแทนที่หยดหมึกไปบนกระดาษ หยดหมึกเหล่านี้มีขนาดเล็กมาก โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดหมึกมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของมนุษย์ จำนวนหยดหมึกเป็นตัวกำหนดความละเอียดและคุณภาพของภาพ จำนวนหยดหมึกต่อนิ้ว (dpi) ที่ดีย่อมส่งผลต่อความละเอียดและคุณภาพของภาพพิมพ์ที่สูงด้วย ตัวอย่างเช่น ความละเอียด 720x720 dpi ควรสร้างด้วยเม็ดสกรีนของหมึก 518,400 เม็ด บนพื้นที่ 1 ตารางนิ้วบนกระดาษ

เครื่องพิมพ์ของ Cannon และ HP ในรูปที่ 2.9 ใช้เทคโนโลยีพ่นหมึกด้วยความร้อน(Thermal Inkjet) มีการทำงานโดยให้ความร้อนในท่อของหัวพิมพ์จนกระทั่งหมึกเกิดเป็นฟองอากาศเมื่อฟองอากาศขยายขนาดขึ้น หมึกจะถูกแทนที่และมีแรงมากพอที่หมึกจะถูกพ่นผ่านหัวฉีดขนาดเล็กไปสู่กระดาษ จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงทำให้ฟองอากาศหดตัวลงเป็นผลให้หมึกใหม่เข้ามาแทนที่และเมื่อร้อนขึ้นก็จะเข้าสู่กระบวนการเดิมทำให้มีหยดหมึกไหลออกมาได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 หัวพิมพ์ระบบพ่นหมึกด้วยความร้อนสามารถมีหัวพิมพ์ได้มากถึง 600 หัว



รูปที่ 2.9 เทคโนโลยีพ่นหมึกด้วยความร้อน



รูปที่ 2.10 การสร้างหยดหมึกของ Thermal Inkjet (a) เครื่องพิมพ์ของ Canon (b) เครื่องพิมพ์ของ HP

2.1.7 สมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว

2.1.7.1 ความขาวสว่าง (Brightness)

สารสีที่อยู่ในสารเคลือบมีผลต่อความขาวสว่างเพราะอนุภาคสารสีจะไปทำให้เกิดการกระเจิงของแสง การกระเจิงแสงที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลที่เกิดจากการสะท้อนและการหักเหของแสงที่ตกกระทบสารเคลือบ เส้นใยเซลลูโลสและสารเติมแต่ง ความขาวสว่างของกระดาษวัดได้จากค่าการสะท้อนแสงโดยรวม (Total reflectance of light) ที่ตกลงบนกระดาษ ในอุตสาหกรรมทำกระดาษจะวัดความขาวสว่างที่มุมแสงตกกระทบ 45° และมุมรับแสงสะท้อนที่ 0° ทำมุมกับเส้นตั้งฉาก และค่าความขาวสว่างคือค่าการสะท้อนที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตรตามมาตรฐาน Tappi (T452 : Tappi Brightness)

2.1.7.2 ความขาว (Whiteness)

ความขาว (Whiteness) แตกต่างจากความขาวสว่าง (Brightness) คือค่าความขาวเป็นการรวมเข้าไว้ทั้งหมดของค่าการสะท้อนแสงตลอดช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นทั้งหมด คือ 400-700 นาโนเมตร การใช้ค่าความขาวเพียงค่าเดียว เช่นดัชนีความขาว ในการเปรียบเทียบความขาวของวัตถุ จะมีความสะดวกว่า การใช้ค่าการสะท้อนแสงตลอด 400 700 นาโนเมตร แต่วัตถุที่นำมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าดัชนีความขาวนั้น ควรมีความมันวาว ลักษณะของผิวหน้าและสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกัน และมีสีใกล้เคียงกับค่าความขาวเพราะการนำวัตถุที่มีสีอื่นมาแทนค่าดัชนีความขาวนั้นจะไม่มีความหมายใด ๆ ดัชนีความขาวที่ใช้กับกรดาษได้แก่ ดัชนีความขาวที่กำหนดโดย ASTM (E313-73) ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด C มุมผู้สังเกตมาตรฐานที่ 2 องศา ซึ่งมีสมการดังนี้

$$WI\ E313 = 4Z - 3Y$$

โดยที่ Z และ Y คือ ค่า ไตรสติมูลัส ($C/2^{\circ}$ มี $X_n = 0.3101$ และ $Y_n = 0.3162$)

2.1.7.3 ความเรียบ (Smoothness)

สมบัติเชิงฟิสิกส์อื่นที่มีผลต่องานพิมพ์ก็คือความเรียบ ซึ่งเป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ กระดาษที่มีความเรียบมากจะส่งผลต่อความละเอียดของงานพิมพ์ที่สูงขึ้นดังนั้นกระดาษชนิดความมันวาวสูงจะมีความเรียบสูง แต่กระดาษที่มีความเรียบสูงไม่จำเป็นต้องมีความมันวาวสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.8 คุณภาพงานพิมพ์

การทดสอบสมบัติกระดาษก่อนพิมพ์และคุณภาพงานพิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์และทำให้ทราบสาเหตุของงานพิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพอันเนื่องมาจากสมบัติของสารเคลือบบนกระดาษและสามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

2.1.8.1 ความดำของหมึกพิมพ์ (Ink density)

ค่าความดำของหมึกพิมพ์เป็นผลมาจากปรากฏการณ์เชิงแสง คือ การสะท้อน การดูดกลืนและการหักเหของแสง การวัดค่าความดำคือ การวัดปริมาณของแสงที่สะท้อนจากงานพิมพ์ แล้วเปลี่ยนเป็นค่าความดำ ซึ่งปริมาณแสงที่สะท้อนดังกล่าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการดูดกลืนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ ถ้าปริมาณแสงสะท้อนน้อยจะวัดได้ค่าความดำมาก

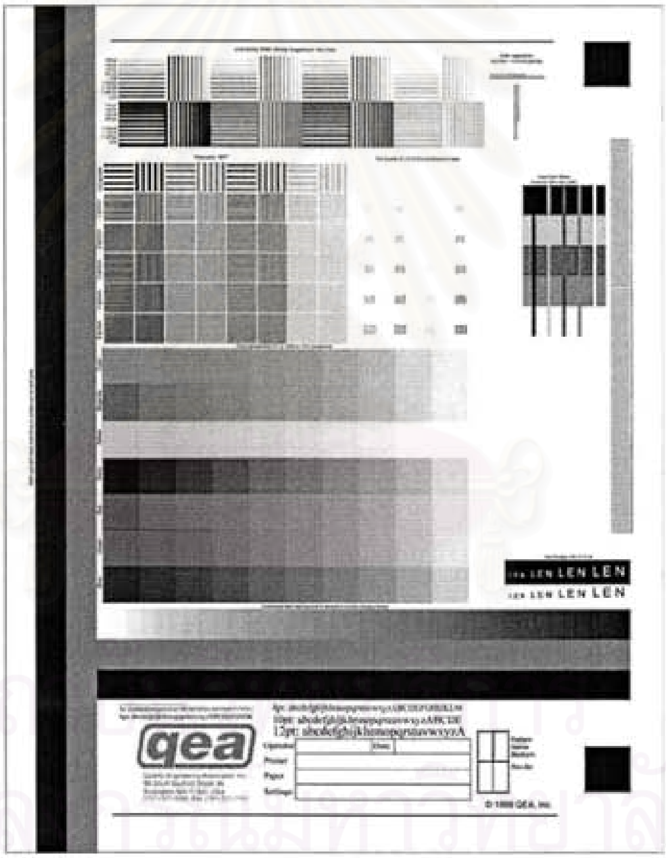
2.1.8.2 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ (Inter-color Bleed)

คือการซึมเข้าหากันของสี เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดปัญหาหนึ่งของการพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ตที่มีต่อคุณภาพงานพิมพ์ พบมากในหมึกอิงก์เจ็ตระบบความร้อนฐานน้ำที่มีความหนืด 1-5 เซนติพอยส์ บริเวณที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดที่สุดคือบริเวณสีดำบนพื้นสีเหลือง หรือบริเวณที่พิมพ์สีดำติดกับสีเหลือง ปรากฏการณ์นี้ขึ้นอยู่กับกระดาษที่ใช้พิมพ์มากที่สุด และสามารถแก้ไขหรือลดปัญหาลงได้โดยใช้กระดาษที่มีการเคลือบผิวพิเศษ หรือโดยใช้การพิมพ์ที่มีการทำให้หมึกแห้งตัวก่อนพิมพ์สีถัดไป หรืออาจใช้หมึกพิมพ์ที่แห้งตัวเร็วภายใน 1 วินาทีหรือน้อยกว่านั้น ก่อนที่หมึกจะซึมเข้ามาผสมกัน การวัดการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์จะทำการวัดเส้นสีดำบนพื้นเหลือง หากความกว้างของเส้นที่พิมพ์มากกว่าความกว้างของเส้นต้นฉบับมาก ร้อยละของการซึมเข้าหาของสีจะมีค่าสูง

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

2.1.9 Test target

การตัดสินใจของผู้บริโภค ในการซื้อเครื่องพิมพ์ หมึกพิมพ์ โทนเนอร์หรือวัสดุพิมพ์ มักพิจารณาจากความพอใจ แต่เกณฑ์ที่ขึ้นอยู่กับตัวบุคคลมีความไม่แน่นอน จึงไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพ ดังนั้นจึงมีผู้ผลิตเครื่องมือที่เรียกว่า "Test target" ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ขึ้นมาสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งให้ความคงที่ น่าเชื่อถือ มีประสิทธิภาพ เครื่องมือสำหรับใช้วัดคุณภาพงานพิมพ์ประกอบด้วย บริเวณสำหรับพิมพ์เม็ดสกรีน บริเวณพื้นตาย บริเวณความละเอียดของเส้น บริเวณขนาดเม็ดสกรีน บริเวณ Inter-color bleeding บริเวณการผลิตน้ำหนักสีเทา และบริเวณความคมชัดของตัวอักษร ลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐานที่สามารถวัดหรือสังเกตได้จาก Test target สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.11 QEA test target สำหรับวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

ตารางที่ 2.6 ลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐาน

ส่วนประกอบของภาพ	ลักษณะของภาพ
เม็ดสกรีน	- ตำแหน่งของเม็ดสกรีน (Dot location) - เม็ดสกรีนบวม (Dot gain) - รูปร่างเม็ดสกรีน (Dot shape) - รอยหยักบริเวณขอบ (Edge raggedness) - การเกิดเม็ดสกรีนรูปร่างคล้ายดาวหาง (Satellite)
เส้น	- ความกว้างของเส้น (Line wide) - ความคมชัดบริเวณขอบ (Edge sharpness) - รอยหยักบริเวณขอบ (Edge raggedness) - ความละเอียด (Resolution)(ค่ากำลังแยก MTF)
บริเวณพื้นตาย	- ค่าความดำเชิงแสง (Optical density) (การผลิตน้ำหนักสีของภาพ) - สี (ความอิ่มตัวสีสัน) - สัญญาณรบกวน (Noise) - ความหยาบละเอียด (Graininess) - รอยกระดำกระด่าง (Mottle) - เงาเหลื่อมหลัง (Ghosting) - ความมันวาวของหมึกพิมพ์ (Ink gloss)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.10 การออกแบบของผสม (Mixture Design)

สารเคลือบผิวคือของผสมที่มีความซับซ้อน ประกอบด้วย สารสี สารยึด ตัวทำละลายและสารเติมแต่ง การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบใดในส่วนผสมจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารเคลือบ หากจะทำการประเมินผลกระทบขององค์ประกอบในสารเคลือบหรือของผสมต่อสมบัติต่างๆ นั้น จำเป็นต้องใช้เวลานานและใช้ตัวอย่างจำนวนมาก

การออกแบบของผสม (Mixture design) คือการรวมเทคนิกทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลที่เกิดจากองค์ประกอบที่หลากหลาย และนอกจากนี้การออกแบบส่วนผสมยังใช้เพื่อหาสูตรที่เหมาะสม ที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดสำหรับการผสมองค์ประกอบต่างๆ เหล่านั้น

การออกแบบของผสม (Mixture design) เป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตอบสนอง (Y) และตัวแปรอิสสระ (X) อีกทั้งหาผิวหน้ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X สำหรับในการทดลองนี้จะหมายถึง ค่าความดำของสีดำ หรือค่าความขาว หรือร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สีดำในสีเหลือง และกลุ่มของตัวแปรอิสระ (X_i) สำหรับในการทดลองนี้จะหมายถึงสัดส่วนขององค์ประกอบสำคัญในสารเคลือบ ได้แก่ ซิลิกา ดินขาวนราธิวาส และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบการทดลองมีด้วยกันอยู่หลายรูป ได้แก่ ลิเนียร์ (Linear)(สมการ2.1), ควอดราติก (Quadratic)(สมการ2.2), ฟูลคิวบิก (Full Cubic)(สมการ2.3) และ สเปเชียล คิวบิก (Special Cubic)(สมการ2.4)

$$E(y) = \sum_{i=1}^{p} \beta_i x_i \tag{2.1}$$

$$E(y) = \sum_{i=1}^{p} \beta_i x_i + \sum \sum_{i<j}^{p} \beta_{ij} x_i x_j \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned} E(y) = \sum_{i=1}^{p} \beta_i x_i &+ \sum \sum_{i<j}^{p} \beta_{ij} x_i x_j \\ &+ \sum \sum_{i<j}^{p} \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) \\ &+ \sum\sum\sum_{i<j<k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$\begin{aligned} E(y) = \sum_{i=1}^{p} \beta_i x_i &+ \sum \sum_{i<j}^{p} \beta_{ij} x_i x_j \\ &+ \sum\sum\sum_{i<j<k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \end{aligned} \tag{2.4}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นสมการควอดราติก (Quadratic) สำหรับของผสม 3 องค์ประกอบ รูปแบบของสมการจะเป็น

$$Y = ß_1X_1+ß_2X_2+ß_3X_3+ß_{12}X_1X_2+ß_{13}X_1X_3+ß_{23}X_2X_3 \qquad \text{สมการที่(2.5)}$$

โดยสัมประสิทธิ์ร่วมสามารถคำนวณได้จาก

$$ß_1 = Y_1$$
$$ß_2 = Y_2$$
$$ß_3 = Y_3$$
$$ß_{12} = 4Y_{12}-2(Y_1+Y_2)$$
$$ß_{13} = 4Y_{13}-2(Y_1+Y_3)$$
$$ß_{23} = 4Y_{23}-2(Y_2+Y_3)$$

การออกแบบของผสม เป็นการใช้หลักสถิติในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบในของผสม นั้น ตัวอย่างเช่น X_1, X_2, ..., Xp เป็นสัดส่วนต่าง ๆ ของ p องค์ประกอบในของผสม

โดยที่

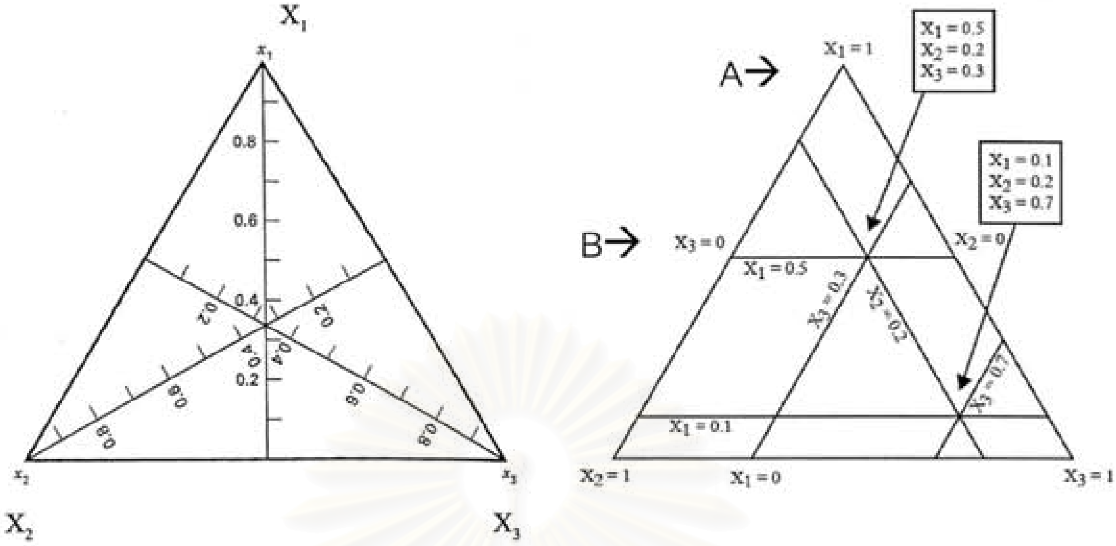
$$0 \leq X_i \leq 1 \qquad i = 1, 2, ..., p$$

และ

$$X_1 + X_2 + ... + Xp = 1 \text{ (ร้อยละ100)}$$

สำหรับของผสมที่มี 3 องค์ประกอบสามารถแสดงได้ในรูปของไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต (Trilinear co-ordinate) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 X_1 คือองค์ประกอบที่ 1 X_2 คือองค์ประกอบที่ 2 X_3 คือองค์ประกอบที่ 3 ที่ตำแหน่งมุมแหลมของสามเหลี่ยมแทน องค์ประกอบหนึ่งที่ใช้ในของผสมนั้น และเป็นจุดที่มีองค์ประกอบนั้นในสัดส่วนเท่ากับ 1 และองค์ประกอบที่เหลือเท่ากับ 0 เช่นที่จุด A มีสัดส่วนขององค์ประกอบ X_1, X_2 และ X_3 เป็น 1:0:0 ที่จุด B มีสัดส่วนองค์ประกอบ X_1 X_2 และ X_3 เป็น 0.5 : 0.5 : 0 เป็นต้น

การออกแบบของผสมแบบซิมเพล็ก (Simplex design) ได้นำมาใช้ในการศึกษาผลขององค์ประกอบในของผสมต่อสมบัติของของผสม

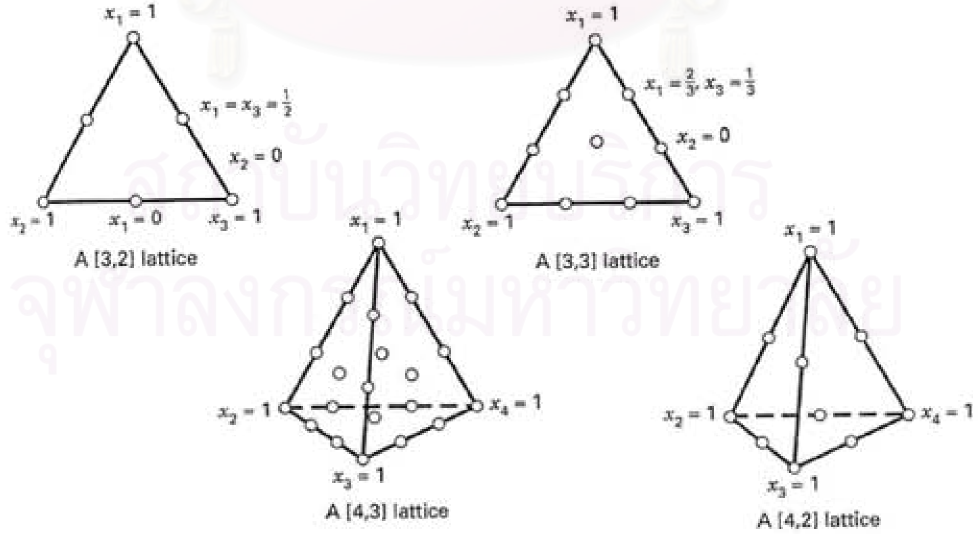


รูปที่ 2.12 ไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต (Trilinear co-ordinate)

ในการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็ก สามารถแบ่งวิธีการออกแบบได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส (Simplex lattice design) และการออกแบบแบบซิมเพล็กเซ็นตรอยด์ (Simplex centroid design)

การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส (Simplex lattice design) มีรูปแบบของจุดโคออร์ดิเนตสำหรับ p องค์ประกอบและ m ระดับ,{p,m} ดังแสดงในรูป 2.16

$$X_i = 0,\ 1/m,\ 2/m,\ \ ,\ 1 \qquad i = 1,\ 2,\ \ ,\ p$$

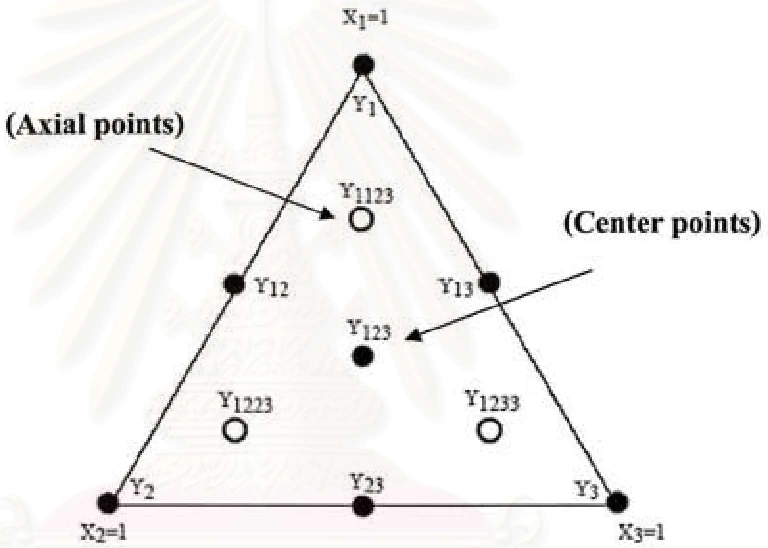


รูปที่ 2.13 การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิสสำหรับ p = 3 และ p = 4 องค์ประกอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างเช่น 3 องค์ประกอบ สองระดับแลททิส (A [3, 2] lattice) คือ การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส ที่มีของผสม 3 องค์ประกอบมีการแบ่งช่วงของแต่ละองค์ประกอบออกเป็น 2 ระดับซึ่งจะประกอบด้วยของผสม 6 ชุด ได้แก่ (X_1, X_2, X_3) = (1, 0 ,0), (0, 1, 0), (0, 0 ,1), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2) และ (0, 1/2, 1/2)

สำหรับงานวิจัยนี้ จะนำการออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส 2 ระดับที่รวมจุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (center points) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดที่มุมและจุดตรงกลาง (axial points) ไว้ด้วย เพื่อให้การทำนายสมบัติสารเคลือบได้สมบูรณ์ขึ้นโดยจุด axial ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งสัดส่วนของของผสมได้แสดงดังตารางที่ 2.7



รูปที่ 2.14 การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส 2 ระดับที่รวมจุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (center points) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดศูนย์กลางและจุดมุม (axial points)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

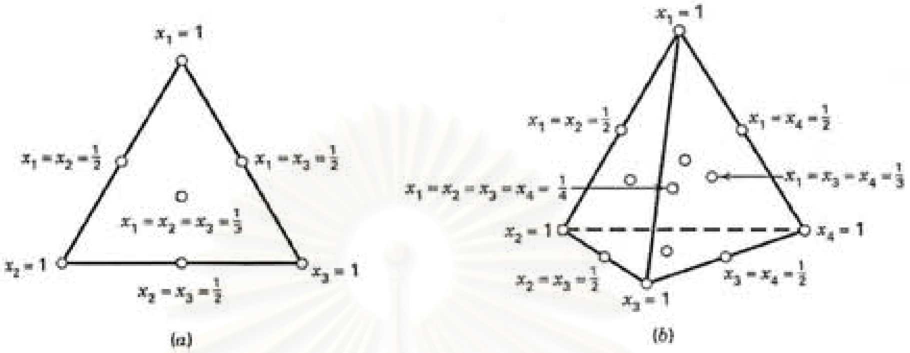
ตารางที่ 2.7 สัดส่วนของของผสมการออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิส 2 ระดับ 3 องค์ประกอบ

ชุดของของผสม	X_1	X_2	X_3	ตัวแปรตอบสนอง
1	1	0	0	Y_1
2	0	1	0	Y_2
3	0	0	1	Y_3
4	1/2	1/2	0	Y_{12}
5	1/2	0	½	Y_{13}
6	0	1/2	1/2	Y_{23}
7	1/3	1/3	1/3	Y_{123}
8	2/3	1/6	1/6	Y_{1123}
9	1/6	2/3	1/6	Y_{1223}
10	1/6	1/6	2/3	Y_{1233}

โดยทั่วไปหากใช้การผสมตามสูตรในตารางที่ 2.4 อาจจะทำการทดลองสูตร 1 ถึง 7 ก่อนแล้ว หลังจากได้วัดค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแต่ละสูตรแล้วจะได้แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและตัวแปรอิสระตามสมการที่ 2.5 (ถ้าใช้สมการควอดราติก) และเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดจึงทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยทำการทดลองโดยใช้สูตร 7, 8 และ 9 (axial points) ว่าค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้จากสมการหรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับ p องค์ประกอบของการออกแบบแบบซิมเพล็กเซ็นตรอยด์ (Simplex centroid design) จะมีจำนวนจุดในแบบจำลองเป็น 2p-1จุด ซึ่งระดับของการแบ่งจุดจะเท่ากับ 1, 1/2, 1/3, ,1/p ดังแสดงในรูป 2.18



รูปที่ 2.15 การออกแบบแบบซิมเพล็กเซ็นตรอยด์ (Simplex centroid design)
สำหรับ 3 องค์ประกอบ (a) และ 4 องค์ประกอบ (b)

ในการทดลองหาสูตรที่เหมาะสม หากสมบัติที่สนใจมีมากกว่า 1 ชนิด จำเป็นต้องหาสูตรที่เหมาะสมที่ให้สมบัติที่สนใจเหล่านั้นมีค่ายอมรับได้ ในการคำนวณหาค่าตัวแปรอิสระ (X_i) จากแบบจำลอง 3 สมการซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองของ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ (Density) ค่าร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกสีดำในสีเหลือง (Inter-color bleeding) และค่าความขาวของกระดาษ (Whiteness) มาใช้สำหรับคำนวณหาสูตรที่ดีที่สุด

Density (Y_1) $= \beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{13}X_1X_3+\beta_{23}X_2X_3$

Inter-color Bleeding (Y_2) $= \beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{13}X_1X_3+\beta_{23}X_2X_3$

Whiteness (Y_3) $= \beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{13}X_1X_3+\beta_{23}X_2X_3$

จากทั้ง 3 แบบจำลองสามารถเขียนรูปแบบของสมการเป็นเมทริกได้คือ $A = [Y_1\ Y_2\ Y_3]^T$, $B = [\beta_1\ \beta_2\ \beta_3\ \beta_{12}\ \beta_{13}\ \beta_{23}]$ และ $C = [X_1\ X_2\ X_3\ X_1X_2\ X_1X_3\ X_2X_3]^T$ ซึ่งสามารถแก้สมการหาค่าตัวแปรอิสระได้จากสูตร $C = A.B^T\ [B.B^T]^{-1}$

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุทุมพร (8) ได้ทำการศึกษาซิลิกาที่ได้จากขี้เถ้าแกลบซึ่งนำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตพบว่า กระดาษพิมพ์อิงเจ็ตที่ผลิตขึ้นให้คุณภาพงานพิมพ์เทียบเท่ากระดาษทางการค้าเพียงแต่ ค่าความดำของหมึกพิมพ์ ยังมีค่าต่ำกว่ากระดาษทางการค้า และเมื่อทำการส่องขยายถ่ายรูปผิวหน้ากระดาษเคลือบผิว ด้วยกล้องกำลังขยายสูงพบว่า กระดาษทางการค้ามีอนุภาคของสารสีที่มีขนาดและรูปร่างต่างกันอยู่จึงได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่า อาจใช้สารสีอื่นใส่ลงไปควบคู่กับซิลิกาที่ได้จากขี้เถ้าแกลบโดยเฉพาะสารสีที่มีอนุภาคแบนและมีขนาดใหญ่ โดยสารสีนั้นต้องไม่มีรูพรุนภายในและมีผิวเรียบเพื่อป้องกันการซึมของหมึกมากเกินไป เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือไทเทเนียมไดออกไซด์ จะทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนมากขึ้น

Chapman (9) ทำการศึกษาสมบัติของซิลิกาสังเคราะห์อสัณฐาน พบว่าซิลิกามีระบบรูพรุน 2 แบบคือ รูพรุนระหว่างอนุภาค และรูพรุนภายในอนุภาค แบบหลังนี้ทำให้ซิลิกามีความสามารถในการรับหมึกสูง ขณะที่รูพรุนระหว่างอนุภาคของซิลิกาทำหน้าที่ยอมให้ของเหลวไหลผ่านจากพื้นผิวสารเคลือบอย่างรวดเร็วและมีความสามารถในการรับหมึกได้ สูตรสารเคลือบโดยทั่วไปจะมีซิลิกาเจลที่มีปริมาตรรูพรุนสูงจะใช้เวลาในการแห้งตัวสั้น สมบัติของซิลิกาสังเคราะห์อสัณฐานอีกประการหนึ่งคือ การแพร่ของหยดหมึกบนสารเคลือบ พบว่าขึ้นกับธรรมชาติทางเคมีของพื้นผิว (พลังงานผิว) ซึ่งสัมพันธ์กับแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์และขึ้นกับปัจจัยอื่นที่สำคัญเช่น ความหยาบและรูพรุนของสารเคลือบ นอกจากนี้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซิลิกาก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบของพื้นผิวด้วยสำหรับสารเคลือบที่มีรูพรุนสูง จะทำให้หมึกพิมพ์ดูดซึมได้รวดเร็วเป็นผลให้สารสีของหมึกพิมพ์คงอยู่บริเวณผิวของสารเคลือบ การดูดซับตัวทำละลายของหมึกพิมพ์ ทำให้สารสีในหมึกพิมพ์ถูกแยกอยู่ในบริเวณใกล้ผิวสารเคลือบ สุดท้ายขนาดอนุภาคของซิลิกายังมีผลต่อการปรากฏสีพื้นตายและความความหยาบของพื้นผิวที่มีผลต่อความมันวาวภาพพิมพ์

Prakash, Malla และ Siva (10) ทำการทดลองโดยใช้ดินขาวที่มีอนุภาคเล็กขนาด 0.3ไมโครเมตร เป็นสารสีร่วมกับซิลิกาในการผลิตกระดาษอิงก์เจ็ตชนิดด้าน พบว่าดินขาวสามารถกระจายตัวได้ง่ายกับสารช่วยกระจายตัวทั้งประจุบวกและประจุลบที่ร้อยละของของแข็งสูง (ประมาณร้อยละ60) ด้วยค่าความหนืดที่ดี เมื่อผสมดินขาวเข้ากับซิลิกาจะทำให้ผลิตสารเคลือบได้ที่ร้อยละของของแข็งสูงขึ้น และลดปริมาณสารยึดให้ต่ำลงซึ่งจะทำให้ความพรุนของชั้นสารเคลือบสูงและหมึกพิมพ์แห้งตัวได้รวดเร็ว นอกจากนี้การใช้ดินขาวเป็นสารสีร่วมยังเป็นการลดปริมาณการใช้ซิลิกาลง ทำให้ต้นทุนในการผลิตกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ตลดลง เนื่องจากซิลิกามีราคาแพง

งานวิจัยของ Karathanasis (11) ใช้ซิลิกาชนิดใหม่ที่มีรูพรุนขนาดกลางและมีรูพรุนขนาดใหญ่ (Mesoporous และ Macroporous silica) แทนที่สารสีชนิดซิลิกาเจล ส่งผลให้โครงสร้างรูพรุนของชั้นสารเคลือบมีระเบียบมากกว่ากระดาษอิงค์เจ็ตทางการค้าที่มีซิลิกาเจลชนิดเดียว ทำให้สามารถกักสารสีในหมึกพิมพ์ไว้บนพื้นผิวได้มากขึ้นเป็นผลให้มีภาพความคมชัดและมีค่าความดำของหมึกพิมพ์สูงขึ้น

จากข้อมูลของบริษัท Celanese chemical (4) ซึ่งเป็นบริษัทผลิตพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ได้รายงานว่า ส่วนประกอบของสารเคลือบที่สำคัญอีกประเภทหนึ่งคือ สารยึด เช่น แป้ง กาว แต่สารยึดดังกล่าวมีความแข็งแรงในการยึดติดต่ำเป็นเหตุให้เกิดปัญหาของฝุ่นจากสารสีในสารเคลือบหรือส่งผลกระทบต่อการดูดซึมหมึกระหว่างพิมพ์ ส่งผลให้คุณภาพงานพิมพ์ไม่ดี จึงมีการนำพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ มาใช้เป็นสารยึดเนื่องจากมีความแข็งแรงต่อการยึดติดสูง เข้ากันได้ดีกับน้ำ เพิ่มความสว่างของกระดาษและให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์ดีกว่าแป้งพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ควรเป็นชนิด Fully Hydrolyzed (98.0-98.8% hydrolysis) มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง เพราะน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ เป็นตัวควบคุมกำลังในการยึดติดสารสีในสารเคลือบ (Binding power) และกำหนดการไหลของสารเคลือบ การที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้สามารถเพิ่มซิลิกาได้มากขึ้นและการที่ร้อยละไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์สูงขึ้นส่งผลให้ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดคงที่ โดยทั่วไปพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะให้ความหนืดดีกว่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ บริษัท Celanese chemicals พบว่าสูตรสารเคลือบที่เหมาะสำหรับการเคลือบด้วยใบมีดหรือแท่งโลหะเคลือบผิวควรมีร้อยละของของแข็ง 15-30 มีความหนืดอยู่ในช่วง 200-600 cP ใช้ซิลิกา 100 ส่วนต่อพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 30-50 ส่วน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไดรอกไซด์ (NaOH)
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 5N
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (NH_4OH)
4. ขี้เถ้าแกลบ
5. คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, ชื่อทางการค้า NIKLACELL CH5F บริษัท SUNOLIN
   a. สีขาวเม็ดเล็กละเอียด
   b. ปริมาณของแข็งร้อยละ 92-95
   c. ค่ากรด-เบส เมื่อเป็นสารละลายเข้มข้นร้อยละ 1 คือ 9.5-10.5
   d. ความหนืดเมื่อเป็นสารละลายเข้มข้นร้อยละ 10 คือ 200-1500 mPa.s วัดด้วย Brookfield เข็มเบอร์ 4 ความเร็ว 20 RPM อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
6. ซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบ
7. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริษัท J.T. Baker
   a. ร้อยละไฮโดรไลซิส 99-99.8
   b. น้ำหนักโมเลกุล 77,000-79,000 g/mol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 อุปกรณ์

1. ชุดรีฟลักซ์
2. เครื่องบดชนิดพ่น
3. เครื่องคนและให้ความร้อน
4. Buchner funnel พร้อมชุดกรอง
5. แท่งขดลวดเคลือบผิว (Wire bar) ที่ให้ความหนาขณะเปียก 100 ไมครอน
6. เครื่องอัลตราโซนิก รุ่น Transsonic 460 บริษัท Elma
7. กระดาษสำหรับทำกระดาษอิงก์เจ็ต น้ำหนัก 80 g/m^2
8. เครื่องวัด Basis weight ที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. เครื่องพิมพ์เอปสัน : Epson Sylus Photo 2100
    a. ความละเอียด 2,880 x 1,440 dpi
    b. เครื่องพิมพ์ 7 สี
    c. หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต
10. เครื่องวัดความหนืด Brookfield : DV III programmable Rheometer, USA
11. เครื่องวัดความดำของหมึกพิมพ์ (Spectrophotodensitometer) ของบริษัท X-Rite รุ่น 530, USA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. ขั้นตอนการเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบและวิเคราะห์สมบัติของซิลิกา
2. ขั้นตอนการเตรียมดินขาว และศึกษาสมบัติของดินขาว
3. ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบโดยมีซิลิกา ดินขาวนราธิวาส พอลิไวนิลอัลกอฮอล์และซีเอ็มซีในสัดส่วนต่างๆ
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์
5. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Mixture design) ซึ่งจะต้องผสมองค์ประกอบหลักของสารเคลือบขึ้นตามจำนวนที่วิธีการออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิสได้กำหนด

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบและวิเคราะห์สมบัติของซิลิกา

1. นำขี้เถ้าแกลบ 125 กรัม รีฟลักซ์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. กรองเพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลายโซเดียมซิลิเกต นำตะกอนไปล้างด้วยน้ำร้อนปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วนำน้ำล้างตะกอนไปรวมกับสารละลายโซเดียมซิลิเกต
3. เติม 5 N H_2SO_4 ปรับให้ pH เท่ากับ 10 ทิ้งไว้จนเกิดเจล เติม 5 N H_2SO_4 ลงในเจลจน pH เป็น 2
4. เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นให้ pH เป็น 8.5 ตั้งทิ้งไว้ 3.5 ชั่วโมงแล้วกรอง
5. อบซิลิกาเจลข้ามคืนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
6. บดซิลิกาเจลที่แห้งแล้ว ด้วยครกบดสารเคมี แล้วล้างด้วยน้ำกรองปริมาตร 500 มิลลิลิตรน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร
7. นำซิลิกาเจลไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
8. บดซิลิกาให้ละเอียดด้วยเครื่องบด
9. วัดสมบัติต่อไปนี้ของซิลิกา
   - พื้นที่ผิวจำเพาะ
   - ปริมาตรรูพรุน
   - เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน
   - การดูดซึมน้ำมัน (Oil absorption)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมดินขาว และศึกษาสมบัติต่างๆ ของดินขาว

1. นำดินขาวอบเป็นเวลา 2 คืนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
2. บดดินขาวที่แห้งแล้ว ด้วยครกบดสารเคมี และบดดินขาวให้ละเอียดด้วยเครื่องบด
3. วัดสมบัติต่อไปนี้ของดินขาว
    - พื้นที่ผิวจำเพาะ
    - ปริมาตรรูพรุน
    - เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน
    - การดูดซึมน้ำมัน (Oil absorption)

3.2.3 ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบ

3.2.3.1 การเตรียมสารเคลือบ

1. เตรียมสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 17, 22 และ 30 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาและดินขาวเป็น 100 : 0, 90 : 10, 75 : 25, 50 : 50, 0 : 100 จากนั้นผสมสารสีกับสารยึดและสารยึดร่วม ตามตารางที่ 3.1 โดยมีสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดและสารยึดร่วมเป็น 100 : 30 : 2 วัดค่าความหนืดของสารเคลือบที่ผลิตได้

ตารางที่ 3.1 สูตรสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวในสัดส่วนต่างๆ

ซิลิกา: ดินขาว	ร้อยละ	ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	ของแข็ง	ซิลิกา	ดินขาว	พอลิไวนิลอัลกอฮอล์	ซีเอ็มซี	น้ำ
100:0	17	12.878	0	3.864	0.257	83
90:10	17	11.591	1.288	3.864	0.257	83
90:10	21	14.318	1.590	4.772	0.318	79
75:25	17	9.659	3.219	3.864	0.257	83
75:25	22	12.500	4.167	5.000	0.333	78
50:50	17	6.439	6.439	3.864	0.257	83
50:50	22	8.333	8.333	5.000	0.333	78
0:100	17	0	12.878	3.864	0.257	83
0:100	25	0	18.929	5.681	0.379	75
0:100	30	0	22.727	6.818	0.455	70

2. ชั่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตามสัดส่วนในตารางที่ 3.1 ลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องจากนั้นกวนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกว่าพอลิไวนิลอัลกอฮอล์จะละลายหมดแล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ 25 °C

3. ละลายซีเอ็มซีในน้ำกลั่น ผสมสารสีกับน้ำให้เป็น Pigment slurry และใส่ลงไปในซีเอ็มซีที่ละลายแล้ว

4. นำสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ผสมกับ Pigment slurry กวนเป็นเวลา 20 นาที หากสารเคลือบเกิดฟอง ให้นำไปไล่ฟองในอ่างอัลตราโซนิก

5. วัดค่าความหนืด

6. นำไปเคลือบบนกระดาษสำหรับทำฐานกระดาษอิงก์เจ็ต น้ำหนัก 80 g/m^2 โดยใช้แท่งโลหะเคลือบผิว ที่มีชั้นฟิล์มขณะเปียก 100 ไมโครเมตร

7. รอให้แห้ง นำไปขัดผิวผ่านเครื่องอบแห้ง 3 รอบ ที่อุณหภูมิ 60 °C

3.2.3.2 ตรวจสอบสมบัติกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้

1. น้ำหนักสารเคลือบ โดยตัดกระดาษให้มีขนาด 10x10 cm^2 แล้วนำไปชั่ง 3 ครั้งบันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้

2. ความขาวสว่าง (Brightness) วัดด้วยเครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของกระดาษ Technidyne ที่ความยาวคลื่น 457 nm ทำการสุ่มตำแหน่งวัด 3 ครั้ง

3. ความขาว ใช้เครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของกระดาษ Technidyne ทำการสุ่มตำแหน่งวัด 3 ครั้ง

4. ความสม่ำเสมอของสารเคลือบบนกระดาษ ด้วยวิธี SEM ทำการบันทึกภาพของพื้นผิวไว้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.4 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

1. พิมพ์ QEA test target ลงบนกระดาษอิงก์เจ็ตที่เตรียมได้สูตรละ 2 แผ่น

2. วิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ โดยการหาค่าเฉลี่ยจากกระดาษอิงก์เจ็ตทั้ง 2 แผ่นที่มีสูตรสารเคลือบเหมือนกัน

- ค่าความดำหมึกพิมพ์ (Ink density) ของ CMYK บนพื้นตาย
- คุณภาพของเส้น (Line quality)
- คุณภาพของตัวอักษร (Text quality)
- ร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ (Inter-color bleed) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\%\,\text{Bleed} = \frac{\text{ขนาดของเส้นที่ผลิตได้} - \text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}}{\text{ขนาดเส้นต้นฉบับ}} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.2.5 การเปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์

พิจารณางานพิมพ์ที่มีคุณภาพดีที่สุดจากกระดาษอิงก์เจ็ตโดยพิจารณาตามหัวข้อ 3.2.4 ที่ผลิตจากสารเคลือบสูตรต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองโดยวิธีออกแบบของผสม (Mixture design) ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบที่ให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดี ในขั้นตอนนี้จะเป็นแนวทางสำหรับขั้นตอนการออกแบบของผสม

3.2.6 การออกแบบของผสม (Mixture design)

1. ทำการผลิตสารเคลือบขึ้นมาตามการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส 2 ระดับ กำหนดดังตารางที่ 3.2 ซึ่งจะได้ทั้งหมด 10 สูตรและมีการทำซ้ำ(replicate)โดยเลือกทำซ้ำที่จุดมุมทั้ง 3 จุด คือสูตรที่ 1-3 ซึ่งเป็นการทำเพื่อรวมเอาความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองมาไว้ในแบบจำลองด้วย สำหรับองค์ประกอบหลักที่สำคัญในสารเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ตในงานวิจัยนี้ได้แก่ ซิลิกา ดินขาวนราธิวาส และ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ซึ่งสัดส่วนที่ใช้จะสามารถกำหนดช่วงให้แคบลงได้จากการพิจารณาผลใน 3.2.5 โดยจะต้องกำหนดค่ามากที่สุด (ให้มีสัดส่วนเท่ากับ 1) และค่าน้อยที่สุด (ให้มีสัดส่วนเท่ากับ 0) ให้กับองค์ประกอบทั้ง 3 องค์ประกอบ และคำนวณสัดส่วน

อื่นๆ ตามตารางที่ 3.2 สำหรับน้ำหนักของซีเอ็มซี และน้ำ จะถูกคงที่ไว้ตามน้ำหนักของสูตรสารเคลือบที่เลือกมาใช้

ตารางที่ 3.2 สูตรสารเคลือบที่ถูกกำหนดขึ้นตามการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส

สูตรสารเคลือบ	ซิลิกา (SiO_2)	ดินขาวนราธิวาส (Kaolin)	พอลิไวนิลอัลกอฮอร์ (PVOH)
สูตรที่ 1	1	0	0
สูตรที่ 2	0	1	0
สูตรที่ 3	0	0	1
สูตรที่ 4	1/2	1/2	0
สูตรที่ 5	1/2	0	1/2
สูตรที่ 6	0	1/2	1/2
สูตรที่ 7*	1/3	1/3	1/3
สูตรที่ 8**	2/3	1/6	1/6
สูตรที่ 9**	1/6	2/3	1/6
สูตรที่ 10**	1/6	1/6	2/3
สูตรที่ 11***	1	0	0
สูตรที่ 12***	0	1	0
สูตรที่ 13***	0	0	1

* จุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (Center points)

** จุดกึ่งกลางระหว่างจุดศูนย์กลางกับจุดมุม (Axial points)

***การตรวจสอบโดยการทำซ้ำในจุดมุม (Vertex)

2. ผลิตสารเคลือบตามน้ำหนักที่ได้คำนวณขึ้น ตามขั้นตอนในข้อ 3.2.3.1

3. ตรวจสอบกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ ตามขั้นตอนในข้อที่ 3.2.3.2

4. วัดสมบัติของกระดาษและคุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งจะเป็นตัวแปรตอบสนองที่สำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. นำค่าของสมบัติกระดาษและคุณภาพงานพิมพ์ที่ต้องการศึกษาได้แก่ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ ค่าร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สีดำในสีเหลือง และค่าความขาวของกระดาษ ใส่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MINITAB ที่ได้ทำการการออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) เอาไว้ก่อนหน้านี้ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แล้ว ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ ค่าร้อยละการล้นเลอะของหมึกสีดำในสีเหลือง และค่าความขาวของกระดาษกับ น้ำหนักของซิลิกา ดินขาวและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ โดยสมการควอดราติก 6 เทอมตามสมการที่ 2.5 ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ร่วม (Coefficients) และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการทำนายค่าของ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ ค่าร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สีดำในสีเหลือง และค่าความขาวของกระดาษ ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนตและ คำนวณสูตรที่ดีที่สุดจากแบบจำลองของ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ ค่าร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกสีดำในสีเหลือง และค่าความขาวของกระดาษ

6. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยทำการผลิตสารเคลือบจากสูตรที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้คำนวณขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

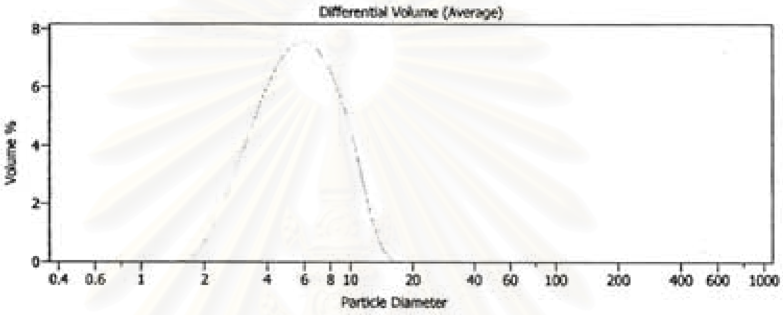
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเตรียมซิลิกาและวิเคราะห์สมบัติของซิลิกา

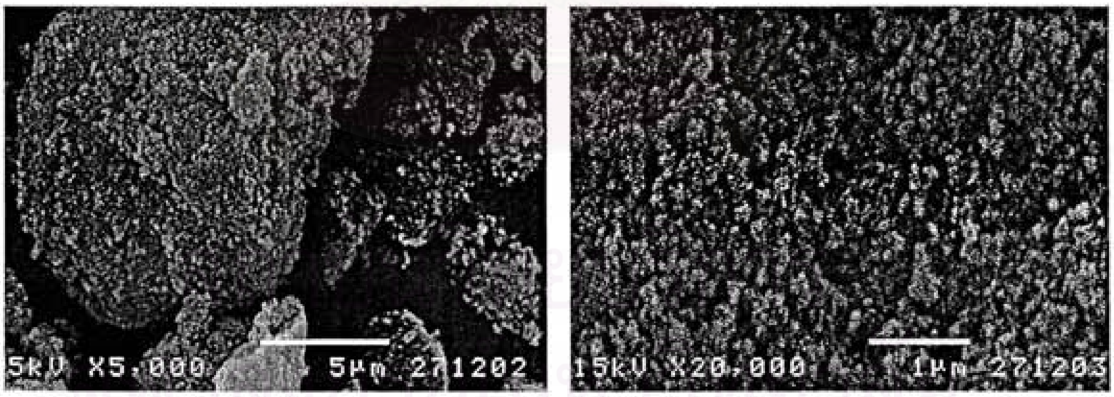
4.1.1 สมบัติของซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบ

- การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซิลิกา



รูปที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคซิลิกา

ผลจากการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของซิลิกาที่ผลิตได้จากขี้เถาแกลบอยู่ในช่วงระหว่าง 3.044-9.819 μm และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6.083 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.1

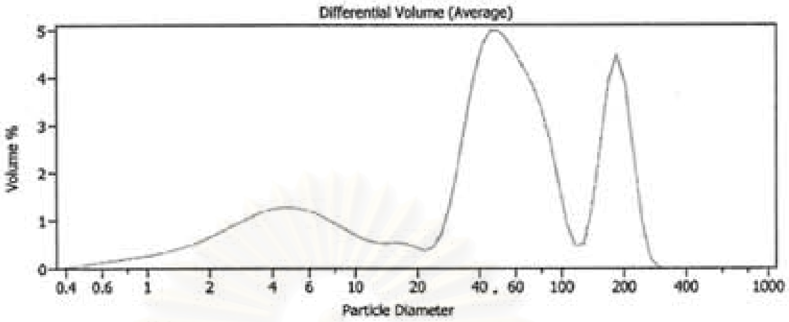


รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกา

รูปที่ 4.2 เป็นภาพถ่าย SEM ของซิลิกา พบว่ารูปร่างของซิลิกามีลักษณะกลมและบริเวณผิวมีความขรุขระ และมีพื้นที่ผิวจำเพาะเฉลี่ย 234.52 m^2/g เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 0.294 (μm) ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 1.805×10^4 (cc/μm-g) การดูดซับน้ำมัน 294.7 ± 2.08 (ml/100g)

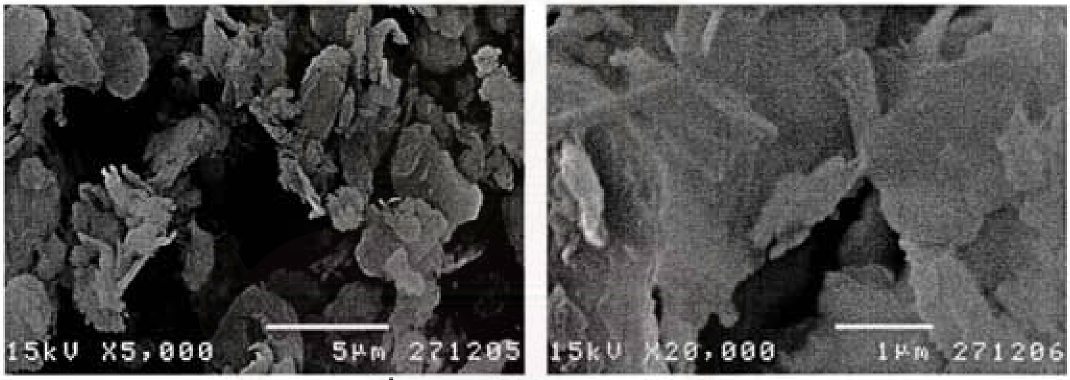
4.1.2 สมบัติของดินขาวนราธิวาส

- การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินขาวนราธิวาส



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของดินขาว

ผลจากการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของดินขาวนราธิวาสที่ผลิตได้จากขี้เถาแกลบอยู่ในช่วงระหว่าง 3.533-184.3 μm และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.64 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของดินขาว

รูปที่ 4.4 เป็นภาพถ่าย SEM ของดินขาวนราธิวาสพบว่ารูปร่างของดินขาวนราธิวาสมีลักษณะแบนราบและบริเวณผิวมีความเรียบ และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 18.85 m^2/g เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 0.561 (μm) ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 5.967×10^3 (cc/μm-g) การดูดซับน้ำมัน 88.7 ± 3.51 (ml/100g)

4.1.3 การเปรียบเทียบสมบัติของสารสี

ตารางที่4.1 สมบัติทางกายภาพของสารสี

สารสี	รูปร่างลักษณะของอนุภาค	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (μm)	ปริมาตรรูพรุน (cc/μm-g)	การดูดซับน้ำมัน (ml/100g)
SiO_2	กลม ผิวขรุขระ	6.083	234.52	0.294	1.805×10^4	294.7 ± 2.08
Kaolin	แบน ผิวเรียบ	69.04	18.85	0.561	5.967×10^3	88.7 ± 3.51

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของซิลิกาและดินขาวนราธิวาส พบว่าดินขาวนราธิวาสมีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่าซิลิกา ซิลิกามีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยสูงกว่าซิลิกาแต่มีปริมาตรรูพรุนเฉลี่ยและความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำกว่าซิลิกามาก นั่นแสดงว่าขนาดรูพรุนของซิลิกามีขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับดินขาว ทำให้ซิลิกาสามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับที่เห็นจากภาพที่ 4.2 และ 4..4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การเตรียมสารเคลือบ

จากการทดลองทำการเตรียมสารเคลือบที่มีสัดส่วนของสารสีซิลิกาต่อดินขาวนราธิวาสเป็น 100:0 90:10 75:25 50:50 0:100 มีสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเป็น 100:30:2 ซึ่งแต่ละสูตรจะผลิตสารเคลือบที่ร้อยละของแข็งสูงสุดที่ให้ความหนืดที่สามารถผลิตสารเคลือบสำหรับการเคลือบด้วยขดลวดเคลือบผิว (wire bar)ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวในสัดส่วนต่างๆ

ซิลิกา : ดินขาว (สัดส่วนโดยน้ำหนักของ)	ร้อยละของแข็ง	ความหนืด (mPas)*
100:0	17	27174
90:10	17	357
90:10	21	4055
75:25	17	354
75:25	22	447
50:50	17	336
50:50	22	591
0:100	17	63
0:100	25	540
0:100	30	2588

หมายเหตุ *วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield เข็มเบอร์ 31 ความเร็วรอบ 20 RPM
อุณหภูมิ 25 (°C)

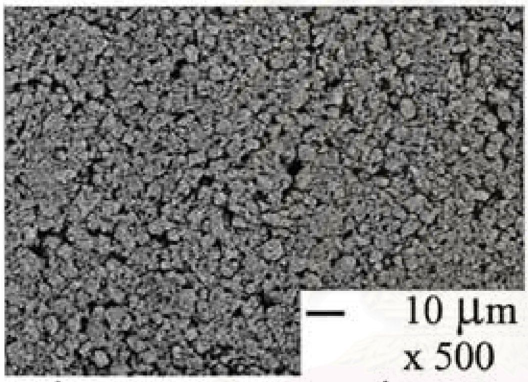
จากการวัดความหนืดของสารเคลือบที่ผลิตตามตารางที่ 4.2 พบว่าสารเคลือบที่มีซิลิกาเป็นสารสีร้อยละ 100 ที่ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 17 จะให้ค่าความหนืดสูงที่สุดคือ 27,174 mPas ส่วนสารเคลือบที่มีดินขาวเป็นสารสีร้อยละ 100 ที่ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 17 จะให้ค่าความหนืดต่ำที่สุดคือ 63 mPas ซึ่งจากตารางที่ 4.1 ซิลิกาเป็นอนุภาคที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนสูงเมื่อนำมาทำสารเคลือบจะให้ค่าความหนืดที่สูงแม้มีร้อยละของของแข็งต่ำทำให้ยากต่อการเคลือบผิวด้วยขดลวดเคลือบผิว ส่วนดินขาวนราธิวาสจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนต่ำทำให้สามารถผลิตสารเคลือบที่มีร้อยละของของแข็งสูงได้ จากการทดลองสามารถเพิ่มร้อยละของของแข็งได้ถึงร้อยละ 30

สำหรับสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวเป็นสารสีในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า การผสมดินขาวเข้ากับซิลิกาจะทำให้สามารถผลิตสารเคลือบที่มีปริมาณของแข็งได้สูงขึ้น

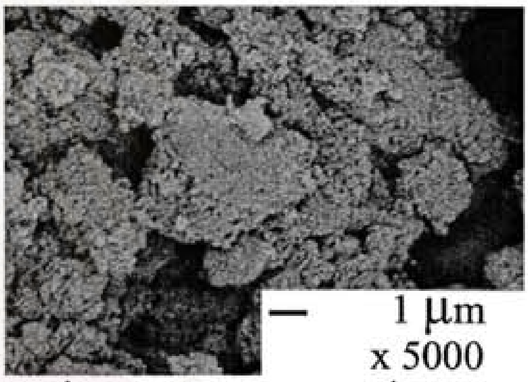
4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์

4.3.1 ลักษณะผิวหน้าของชั้นสารเคลือบ

หลังจากผลิตสารเคลือบตามสัดส่วนในตารางที่ 4.2 แล้วนำมาเคลือบบนกระดาษฐานด้วยขดลวดเคลือบผิว ได้นำกระดาษเคลือบผิวไปตรวจสอบ ลักษณะผิวหน้าของชั้นสารเคลือบ ด้วยเครื่อง Scaning Electron Micrograph (SEM) ยี่ห้อ CamScan i6jo Maxim 2000 โดยใช้การกระเจิงแสงด้านหลัง(BEI) ที่กำลังขยาย 500 และ 5000 เท่าได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.14

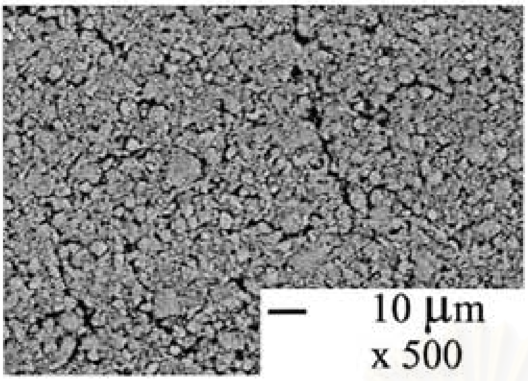


รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 100:0 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 17 กำลังขยาย 500 เท่า

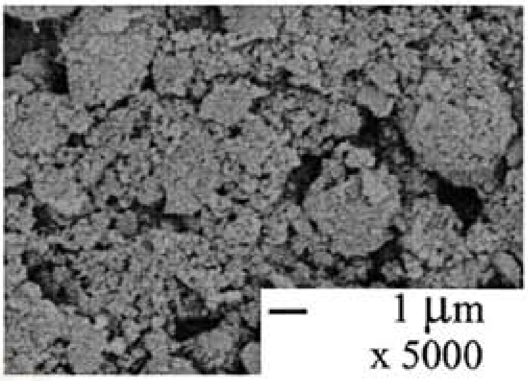


รูปที่ 4.6 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 100:0 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 17 กำลังขยาย 5000 เท่า

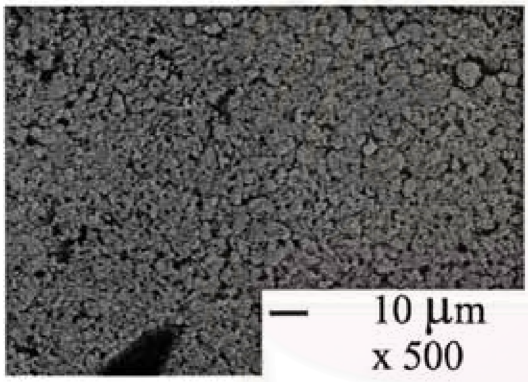
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



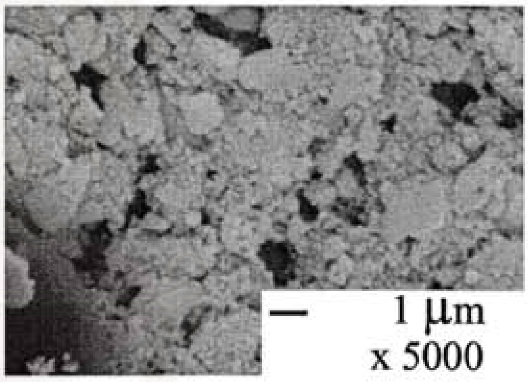
รูปที่ 4.7 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 90:10 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 21 กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.8 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 90:10 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 21 กำลังขยาย 5000 เท่า

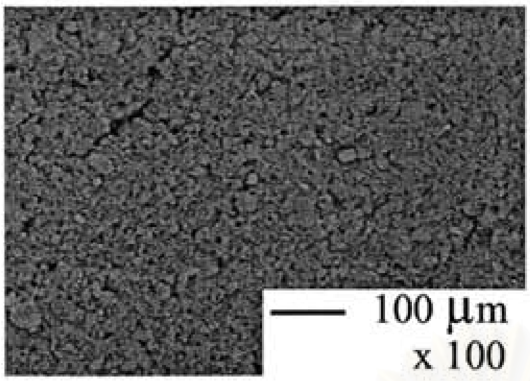


รูปที่ 4.9 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 75:25 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 500 เท่า

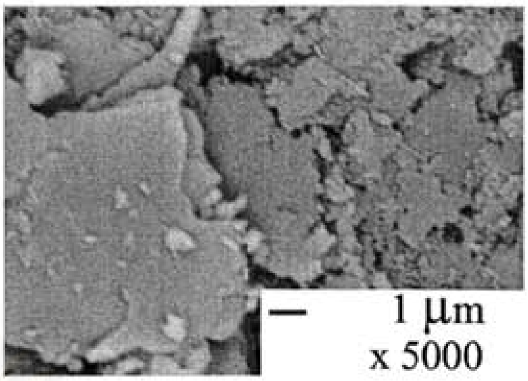


รูปที่ 4.10 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 75:25 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 5000 เท่า

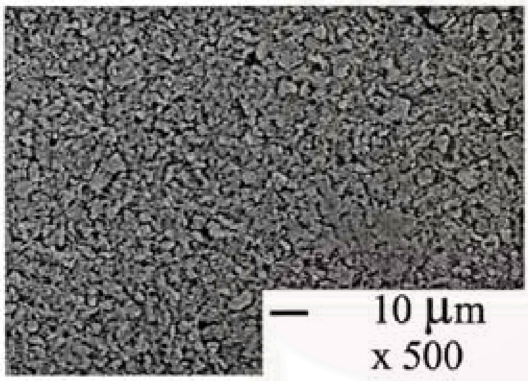
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



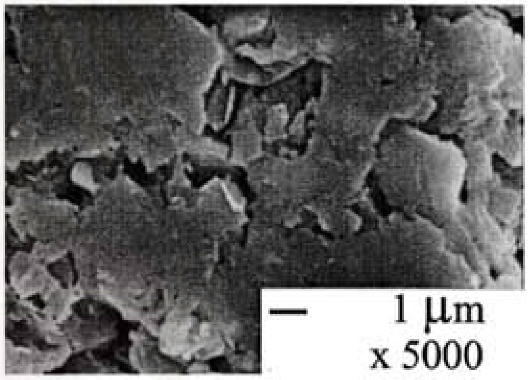
รูปที่ 4.11 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 50:50 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.12 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 50:50 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 22 กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 4.13 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 0:100 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 30 กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.14 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 0:100 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของของแข็งเท่ากับ 30 กำลังขยาย 5000 เท่า

จากการตรวจสอบลักษณะของผิวหน้าด้วยภาพถ่าย SEM เมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายทั้งหมดพบว่าผิวหน้าของอนุภาคส่วนใหญ่ในชั้นสารเคลือบในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นสูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 ผิวหน้าจะมีลักษณะขรุขระไม่สม่ำเสมอ มองเห็นรูพรุนบนพื้นผิวของซิลิกาได้ชัดเจน มีรูพรุนขนาดใหญ่ระหว่างอนุภาคของซิลิกา เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นภาพของผิวหน้าสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ผิวหน้าของอนุภาคส่วนใหญ่ในชั้นสารเคลือบมีลักษณะแบนเรียบ รูพรุนระหว่างอนุภาคในชั้นสารเคลือบจะมีขนาดเล็กและแคบ อนุภาคของดินขาวจะราบเรียบ มองไม่เห็นรูพรุนของพื้นผิว

สำหรับการผสมดินขาวเข้ากับซิลิกาในสัดส่วนต่างๆในรูปที่ 4.7-4.10 ซึ่งอนุภาคของดินขาวจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในรูปที่ 4.8 4.10 และ 4.12 ตามลำดับ จะเห็นว่าช่องว่างระหว่างอนุภาคในชั้นสารเคลือบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผิวหน้าของชั้นสารเคลือบที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีเพียงชนิดเดียว

4.3.2 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตและคุณภาพงานพิมพ์

กระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ จะนำมาวัดสมบัติทางกายภาพของกระดาษได้แก่ วัดค่าความขาวสว่าง ความขาว น้ำหนักสารเคลือบแล้วนำไปพิมพ์ โดยใช้ต้นฉบับเป็น QEA Test target ด้วยเครื่องพิมพ์ Epson Stylus. Photo 2100 เพื่อจะได้วัดค่า ความดำของหมึกพิมพ์ และ การซึมของหมึก ในแต่ละสัดส่วนจะผสมให้ได้ร้อยละของของแข็งสูงสุดที่ยังสามารถเคลือบด้วยขดลวดเคลือบผิวได้ เช่น การใช้ซิลิกาเป็นสารสีร้อยละ 100 สามารถผสมให้มีของแข็งสูงสุดได้ที่ 17 แต่เมื่อผสมดินขาวลงไป ทำให้สามารถผสมให้มีร้อยละของของแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 21 เป็นต้นแต่ยังคงผลิตสารเคลือบให้มีร้อยละของของแข็งที่ 17 ไว้ทุกสูตรเพื่องายต่อการเปรียบเทียบ ซึ่งสามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

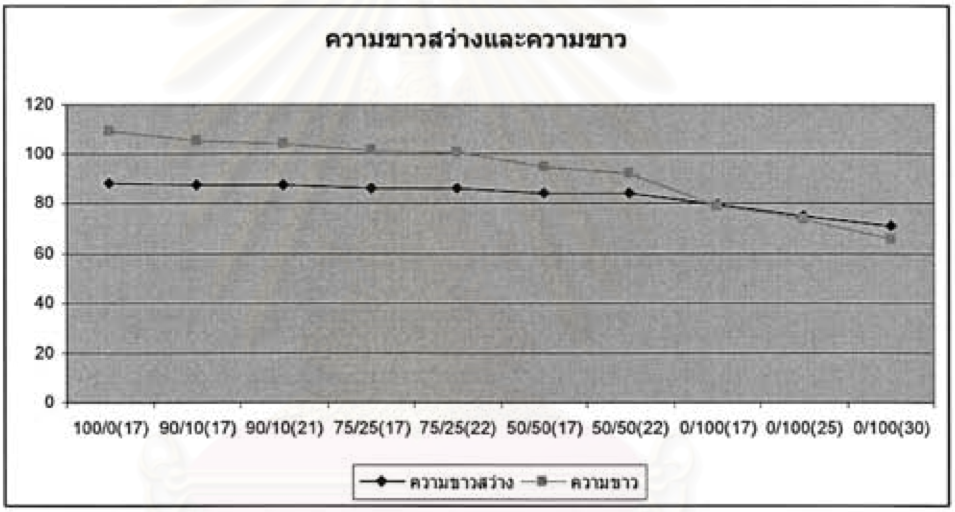
ตารางที่ 4.3 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซิลิกาและดินขาวเป็นสารสีในสัดส่วนต่างๆ

SiO_2:Kaolin	ร้อยละของแข็ง	ความขาวสว่าง	ความขาว	น้ำหนักสารเคลือบ (g/m^2)	ร้อยละการซึมหมึก (%)	ความดำของหมึกพิมพ์			
						C	M	Y	K
100:0	17	88.18	109.30	17.50	3	0.9200	1.2775	0.7530	1.4300
90:10	17	87.26	105.65	18.17	6	0.9070	1.2300	0.7380	1.3300
90:10	21	87.53	104.39	20.89	6	0.9400	1.2985	0.7520	1.4170
75:25	17	86.03	101.75	15.80	5	0.9520	1.2775	0.7270	1.4525
75:25	22	86.32	100.84	18.00	6	1.0240	1.3700	0.7360	1.5460
50:50	17	84.23	95.12	15.70	2	0.8695	1.1960	0.7340	1.2460
50:50	22	84.23	92.42	21.90	3	0.9290	1.2930	0.7425	1.4060
0:100	17	79.33	78.64	17.27	45	0.8730	1.3570	0.7670	1.5600
0:100	25	74.80	73.60	23.60	40	0.8280	1.3930	0.7725	1.6040
0:100	30	71.13	65.31	27.15	65	0.7625	1.3300	0.7575	1.7040
กระดาษฐาน	-	87.27	123.39	-	7	0.9520	1.0370	0.8100	1.1180

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.1 ความขาวและความขาวสว่าง

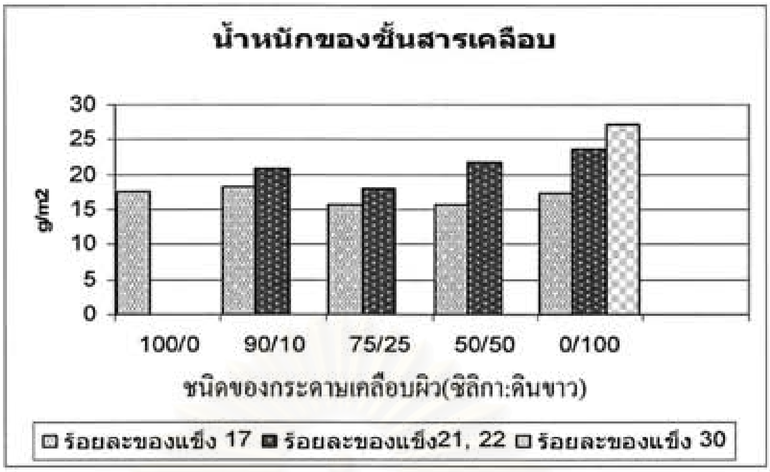
ความขาวสว่างและความขาวของชั้นสารเคลือบผิวจะมีค่ามากที่สุดสำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตในสูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 และจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณของดินขาวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของดินขาวที่นำมาใช้จะมีขาวอมเหลือง การใส่ดินขาวในปริมาณมากจะทำให้ผิวหน้าของกระดาษมีสีอมเหลืองมากขึ้น ความขาวและความขาวสว่างก็จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ความขาวของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีซิลิกาอยู่ร้อยละ 100 ให้ความขาวเฉลี่ยเท่ากับ 109.30 ขณะที่สารเคลือบที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีดินขาวอยู่ร้อยละ 100 ให้ความขาวเฉลี่ยอยู่ที่ 78.64 ที่ร้อยละของแข็งเท่ากันเมื่อสังเกตด้วยตาก็จะสามารถเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน



รูปที่ 4.15 ความขาวและความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิวเมื่อใช้ ซิลิกา:ดินขาว ในสัดส่วนต่างๆกัน

4.3.2.2 น้ำหนักของชั้นสารเคลือบ

น้ำหนักของชั้นสารเคลือบจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของแข็งในสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.16 สารเคลือบที่มีร้อยละของของแข็งเป็น 17 จะมีน้ำหนักของสารเคลือบอยู่ในช่วง 15.7 -18.7 g/m^2 เมื่อเคลือบด้วยขดลวดเคลือบผิวที่ให้ความหนาของแผ่นฟิล์มขณะเปียก 100 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.16 น้ำหนักของชั้นสารเคลือบ

4.3.2.3 ความดำของสีดำ

นำกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้พิมพ์แผ่นทดสอบมาตรฐาน QEA test target ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson รุ่น Stylus Photo 2100 แล้วนำไปวัดความดำของหมึกพิมพ์สีไซแอน สีมาเจนตา สีเหลืองและสีดำ ในที่นี้จะแสดงเฉพาะสีดำดังแสดงในรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.17 ความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวต่างชนิด

การพิจารณาค่าความดำของหมึกพิมพ์ เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ด้วยตามนุษย์ที่เห็นชัดที่สุด ผู้บริโภคต้องการให้ภาพที่ได้มีความเปรียบต่างสูง มีสีสด เพราะรู้สึกว่าได้ภาพที่สวยงาม จากรูปที่ 4.17 ความดำของหมึกพิมพ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ การผสมดินขาวเป็นสารสีร่วมกับซิลิกาลงไปในสารเคลือบจะให้ค่าความดำของสารเคลือบได้ใกล้เคียงหรือสูงกว่าการใช้ซิลิกาเป็นสารสีเพียงชนิดเดียวในสูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 ที่ร้อยละของแข็ง 21 และที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 50:50 ที่ร้อยละของแข็ง 17 และ 22 ตามลำดับ และนอกจากนั้นที่สัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 ที่ร้อยละของแข็ง 22 จะให้ค่าความดำสูงกว่าการใช้ซิลิกาเป็นสารสีชนิดเดียวที่ร้อยละของแข็ง 17 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าสารเคลือบที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีชนิดเดียวจะผลิตกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีความพรุนของชั้นสารเคลือบสูงมีความสามารถในการดูดซับมากเนื่องมาจากสมบัติเฉพาะตัวของซิลิกาที่มีปริมาตรรูพรุนถึง 1.805×10^{4} cc/μm-g และการผสมดินขาวเข้าไปเป็นสารสีร่วมกับซิลิกาจะทำให้สมบัติของชั้นสารเคลือบเปลี่ยนไปคือ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเนื่องจากสมบัติของดินขาวที่มีปริมาตรรูพรุนต่ำกว่าและมีความสามารถในการดูดซับต่ำกว่าถึง 3 เท่า นอกจากนี้ การที่อนุภาคของดินขาวมีขนาดใหญ่ และมีรูปร่างแบนราบเป็นเหลี่ยมต่างจากซิลิกาทำให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคสารสีในชั้นสารเคลือบเมื่อแห้งแล้วแตกต่างจากสารเคลือบที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีชนิดเดียว ที่เห็นได้ชัดคือ การที่รูพรุนระหว่างอนุภาคน้อยลงเมื่อสังเกตเฉพาะที่ผิวหน้าด้วย SEM อนุภาคของสารสีในชั้นสารเคลือบมีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่นมากขึ้น นี้อาจเป็นเหตุผลอย่างหนึ่งที่ทำให้ค่าความดำของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ใช้ซิลิกาและดินขาวเป็นสารสีร่วมกันจะให้ค่าความดำสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับการใช้ซิลิกาเป็นสารสีเพียงชนิดเดียว

สำหรับค่าความดำของหมึกพิมพ์ในสูตรที่มีดินขาวเป็นสารสีชนิดเดียวจะสูงมากเนื่องจากสมบัติทางกายภาพของดินขาวคือ มีอนุภาคขนาดใหญ่ รูปร่างแบนราบ มีปริมาตรรูพรุนต่ำและความสามารถในการดูดซับน้อยทำให้ไม่สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์เข้าไปในชั้นสารเคลือบได้หมึกพิมพ์จึงกองอยู่ที่ผิวหน้า และแห้งตัวช้ามาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.4 คุณภาพของเส้นและตัวอักษร

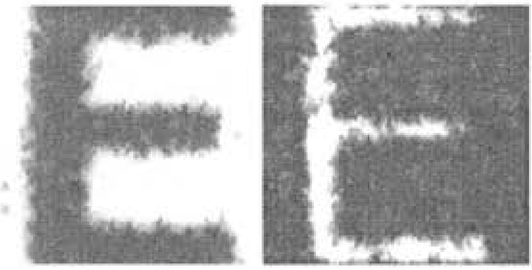
การวิเคราะห์คุณภาพของเส้น (line Quality) นั้นจะพิจารณาจากขนาดของเส้นที่เล็กที่สุดที่สามารถผลิตได้ตาม QEA test target คือ เส้นพอสิทีฟ 1/8 พอยท์ และเส้น เนกาทีฟ 1/8 พอยท์ ซึ่งกระดาษเคลือบผิวที่ผลิตขึ้นในสูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 90:10 75:25และ 50:50 พบว่าสามารถผลิตเส้นที่เล็กที่สุดได้ทั้งเส้นพอสิทีฟ และเส้นเนกาทีฟ ทั้งตามแนวนอนและตามแนวตั้ง สำหรับคุณภาพของเส้นของกระดาษเคลือบผิวที่ผลิตขึ้นในสูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็งเท่ากับ 17 25 และ 30 พบว่าไม่สามารถผลิตเส้นขนาดเล็กสุดเส้นเนกาทิฟ 1/8 พอยท์ ได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ส่วนในเส้นขนาดเล็กสุดพอสิทีฟ 1/8 พอยท์ สามารถผลิตได้แต่ไม่มีความคมชัดทั้งในเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอน

ตารางที่ 4.4 คุณภาพของเส้นขนาดเล็กที่สุดของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้

ซิลิกา:คาโอลิน	ร้อยละของแข็ง	คุณภาพของเส้นขนาดเล็กสุดที่ผลิตได้(พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
100:0	17	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
90:10	17	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8*	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
90:10	21	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟ แนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8*	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
75:25	17	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8*	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง

		1/8	1/8	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
75:25	22	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8*	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
50:50	17	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8*	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
50:50	22	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8*	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8*	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
0:100	17	1/8*	1/8*	1/8*	1/8*	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8*	1/8*	1/8*	1/8*	พอสิทีฟแนวนอน
		1 ¼*	1/4*	1/4*	1/2*	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1 ¼*	1/4*	1/4*	1/2*	เนกาทีฟแนวนอน
0:100	25	1/8*	1/8*	1/8*	1/8*	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8*	1/8*	1/8*	1/8*	พอสิทีฟแนวนอน
		2*	3/4*	½*	1 ¼ *	เนกาทีฟแนวตั้ง
		-	3/4*	½*	1 ¼ *	เนกาทีฟแนวนอน
0:100	30	1/8*	1/8*	1/8*	1/8*	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8*	1/8*	1/8*	1/8*	พอสิทีฟแนวนอน
		2*	3/4*	½*	1 ¼ *	เนกาทีฟแนวตั้ง
		-	3/4*	½*	1 ¼ *	เนกาทีฟแนวนอน
กระดาษฐาน	-	1/8	1/8*	1/8	1/8*	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/4*	3/4*	1/2*	1/2*	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/2*	1/2*	1/2*	1/2*	เนกาทีฟแนวนอน

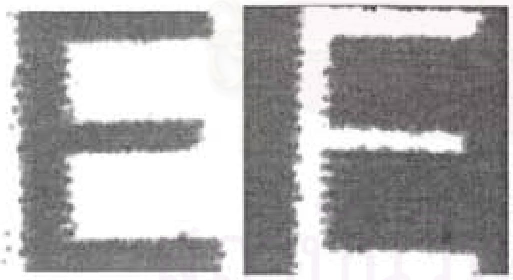
* สามารถผลิตเส้นได้แต่ไม่คมชัด



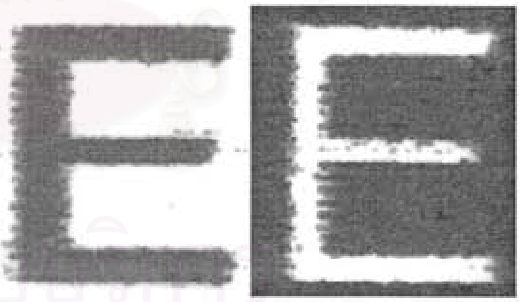
รูปที่ 4.18 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษฐานน้ำหนัก 80 แกรม

รูปที่ 4.19 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 และมีร้อยละของของแข็ง 17

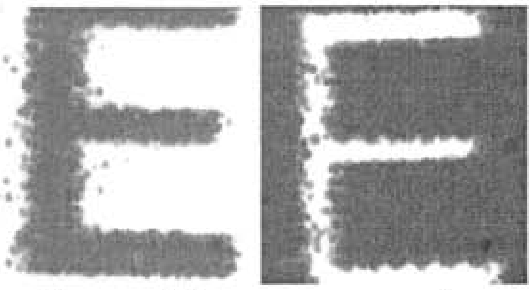
รูปที่ 4.20 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 และมีร้อยละของของแข็ง 17



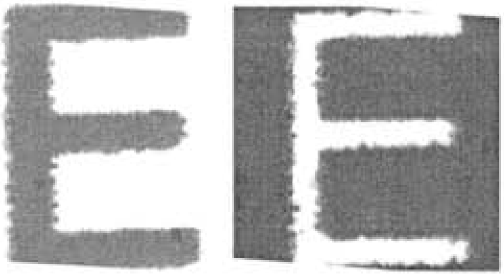
รูปที่ 4.21 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 และมีร้อยละของของแข็ง 21



รูปที่ 4.22 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 และมีร้อยละของของแข็ง 17

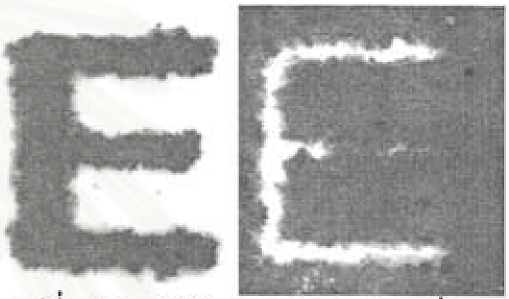


รูปที่ 4.23 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 และมีร้อยละของของแข็ง 22

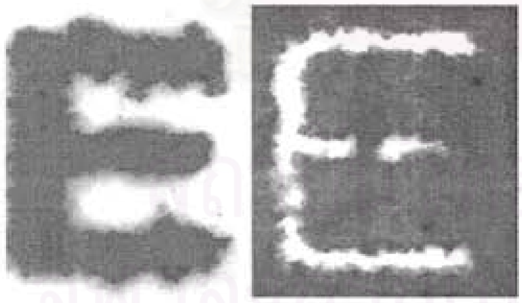


รูปที่ 4.24 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 และมีร้อยละของของแข็ง 17

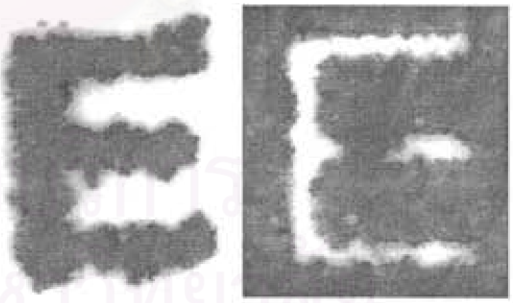
รูปที่ 4.25 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 และมีร้อยละของของแข็ง 22



รูปที่ 4.26 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 และมีร้อยละของของแข็ง 17



รูปที่ 4.27 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 และมีร้อยละของของแข็ง 25

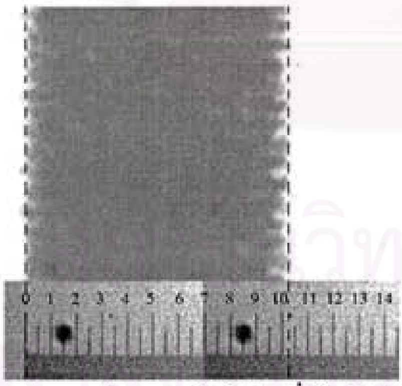


รูปที่ 4.28 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 และมีร้อยละของของแข็ง 30

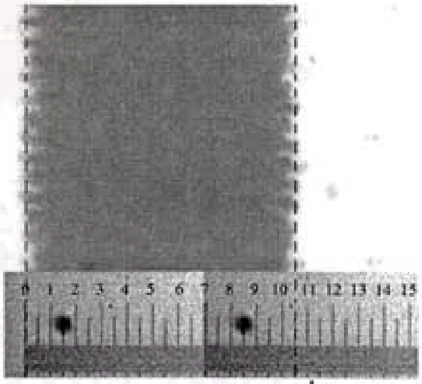
สำหรับการพิจารณาคุณภาพของตัวอักษร ได้พิจารณาคุณภาพตัวอักษรแบบพอสิทิฟและเนกาทีฟซึ่งมีขนาด 6 8 10 และ 12 พอยท์ โดยดูความคมชัดและขนาดของตัวอักษรที่ผลิตได้ หลังจากถ่ายภาพตัวอักษรโดยใช้เครื่องถ่ายภาพยี่ห่อ Olympus รุ่น Szh10 กำลังขยาย 4 เท่าจากรูปที่ 4.19-4.25 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตขึ้นจากสูตรสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาและดินขาวเป็น 100:0 90:10 75:25 และ 50:50 สามารถผลิตตัวอักษรขนาดเล็กที่สุด 6 พอยท์ได้ แต่สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกาและดินขาวเป็น 0:100 ผลิตตัวอักษรขนาดเล็กที่สุดไม่ได้ โดยไม่สามารถอ่านได้ด้วยตาเปล่าเนื่องจากเส้นตัวอักษรแบบเนกาทีฟขาดช่วง ส่วนเส้นตัวอักษรแบบพอสิทีฟมีลักษณะบวมมาก(รูปที่ 4.26-4.28) สามารถผลิตตัวอักษรขนาด 8 10 และ 12 พอยท์ ได้แต่ไม่คมชัด

4.3.2.5 การซึมเข้าหากันของสีดำและสีเหลือง

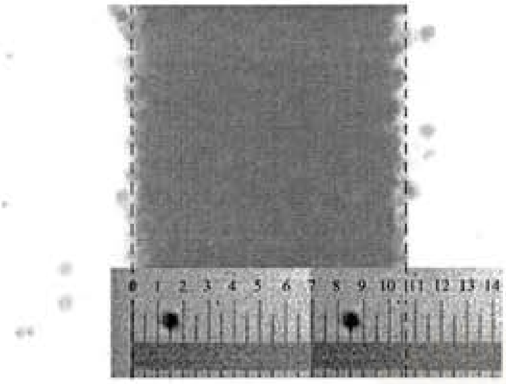
บริเวณสำหรับการตรวจสอบการซึมเข้าหากันของสีจะได้รับการถ่ายภาพโดยใช้เครื่องถ่ายภาพยี่ห่อ Olympus รุ่น Szh10 กำลังขยาย 4X โดยถ่ายบริเวณสีดำที่พิมพ์ข้างพื้นสีเหลือง ความกว้างของเส้นสีดำในต้นฉบับเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อพิมพ์ลงบนกระดาษอิงก์เจ็ต ที่ผลิตขึ้นพบว่า ร้อยละการซึมเข้าหากัน มีค่าต่ำสุดคือเท่ากับ 2 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว เท่ากับ 50:50 ร้อยละของแข็งเท่ากับ 17 (ภาพที่ 4.32)



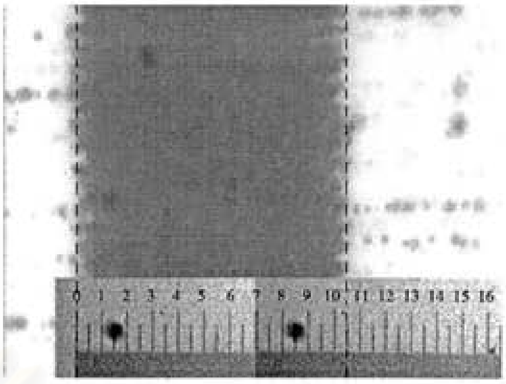
รูปที่ 4.29 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 100:0 ที่ร้อยละของแข็ง 17



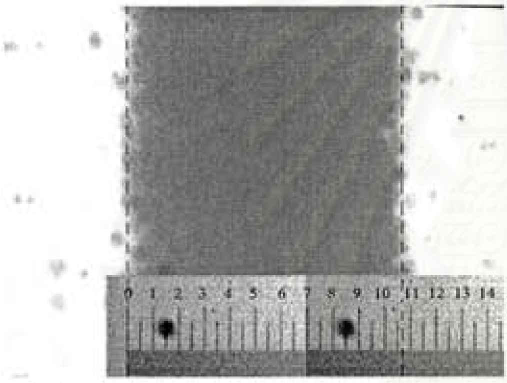
รูปที่ 4.30 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:10 ที่ร้อยละของแข็ง 17



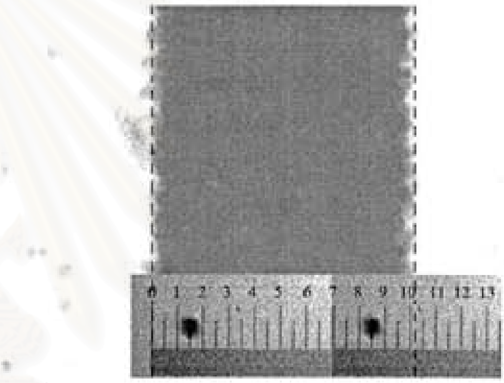
รูปที่ 4.31 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 90:0 ที่ร้อยละของแข็ง 21



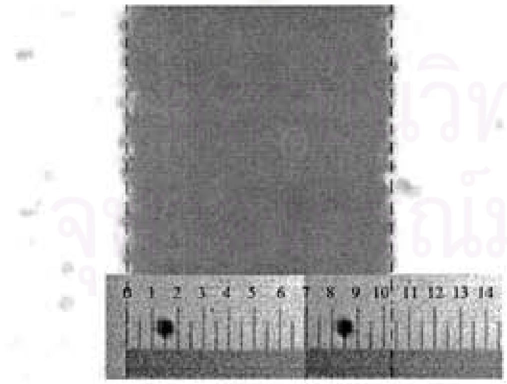
รูปที่ 4.32 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 ที่ร้อยละของแข็ง 17



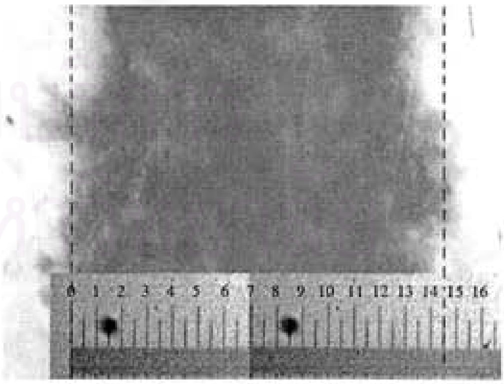
รูปที่ 4.33 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 75:25 ที่ร้อยละของแข็ง 22



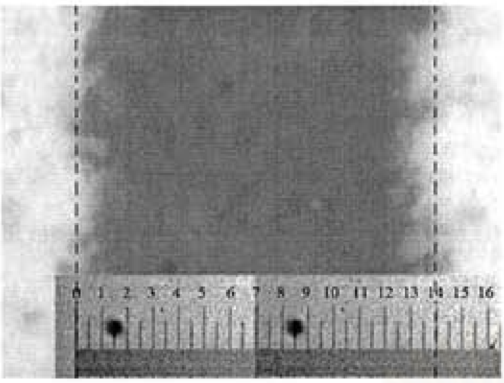
รูปที่ 4.34 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 ที่ร้อยละของแข็ง 17



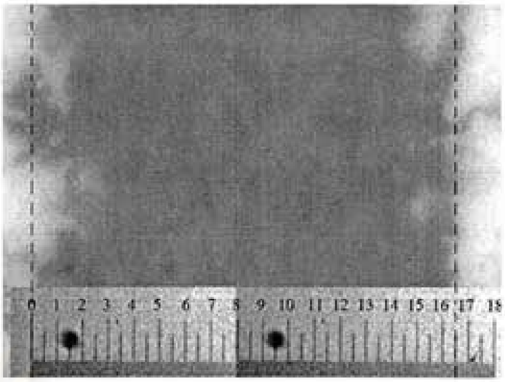
รูปที่ 4.35 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 50:50 ที่ร้อยละของแข็ง 22



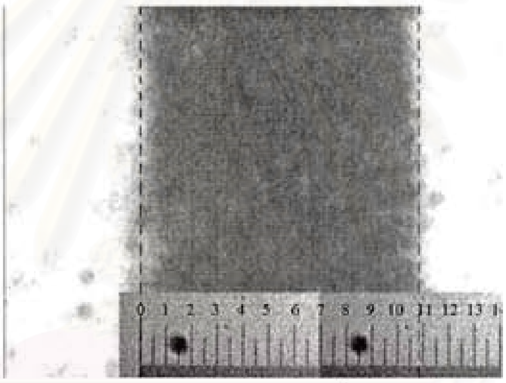
รูปที่ 4.36 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็ง 17



รูปที่ 4.37 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็ง 25



รูปที่ 4.38 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็ง 30



รูปที่ 4.39 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษฐานที่มีน้ำหนัก 80 แกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพงานพิมพ์ทั้งหมดได้แก่ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ คุณภาพของเส้นและตัวอักษร และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยกลไกการดูดซึมหมึกของชั้นสารเคลือบ

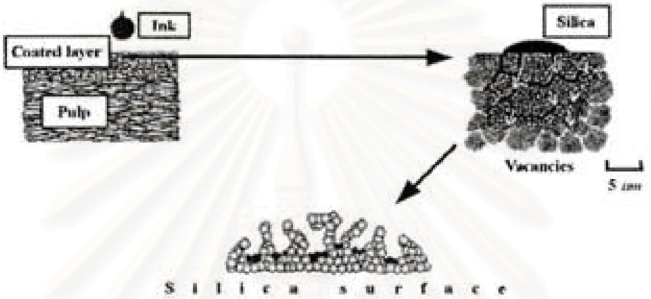
สารเคลือบที่ใช้ดินขาวเป็นสารสีชนิดเดียวจะให้คุณภาพงานพิมพ์ที่มีค่าความดำสูง และสูงขึ้นเมื่อร้อยละของของแข็งสูงขึ้น แต่จะมีคุณภาพของตัวอักษรและเส้นต่ำและร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงจนไม่สามารถยอมรับได้ นั่นคือตัวอักษรและเส้นไม่มีความคมชัด ไม่สามารถผลิตเส้นขนาดเล็กที่สุดได้ มีการซึมของหมึกพิมพ์สีดำเข้าไปในสีเหลืองมาก ลักษณะงานพิมพ์ต่าง ๆที่เกิดขึ้นนี้ อาจสามารถวิเคราะห์ได้จากการจัดเรียงตัวของอนุภาคดินขาวในชั้นสารเคลือบดังแสดงในรูปที่ 4.40

รูปที่ 4.40 การจัดเรียงตัวของอนุภาคดินขาวในชั้นสารเคลือบ (13)

อนุภาคของดินขาวจะมีรูปร่างที่แบนราบทรงแปดเหลี่ยม ตามธรรมชาติแล้วอนุภาคของดินขาวจะจัดเรียงตัวขนานไปกับผิวหน้าของกระดาษฐาน รูพรุนระหว่างอนุภาคของดินขาวจะอยู่ภายใต้อนุภาคที่แบนราบที่ซ้อนตัวกันดังแสดงในรูปที่ 4.41 ทำให้ชั้นสารเคลือบไม่สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์ได้ดี หมึกพิมพ์ก็จะกองอยู่ที่ผิวหน้าของชั้นสารเคลือบเกือบทั้งหมด และบางส่วนซึมไปตามสารยึดที่หุ้มพื้นผิวของอนุภาคของดินขาว จึงทำให้มีค่าความดำสูง คุณภาพของเส้นและตัวอักษรที่ไม่ดีและจากการที่หมึกไม่สามารถซึมลงสู่ผิวหน้าสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว ทำให้หมึกแผ่ออกที่ผิวหน้าของกระดาษ และซึมเข้าหากัน

รูปที่ 4.41 ส่วนตัดขวางของชั้นสารเคลือบดินขาว (13)

สำหรับกระดาษเคลือบผิวที่ผลิตจากสารเคลือบที่มีซิลิกาเป็นสารสีชนิดเดียวจะเห็นว่า ให้คุณภาพงานพิมพ์เป็นที่น่าพอใจคือ มีความคมชัดของเส้นและตัวอักษร สามารถผลิตเส้นและตัวอักษรขนาดเล็กที่สุดได้ มีค่าความดำที่ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณากลไกการดูดซึมหมึกของซิลิกา จากรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าชั้นสารเคลือบที่มีซิลิกาเป็นสารสีจะมีโครงขายรูพรุนของชั้นสารเคลือบสูง ซึ่งจะมีทั้งรูพรุนภายในอนุภาค และรูพรุนระหว่างอนุภาคของซิลิกา หมึกพิมพ์จะถูกดูดซึมได้อย่างดีและรวดเร็ว ไปตามโครงข่ายรูพรุนทำให้ได้งานพิมพ์ที่มีความคมชัดทั้งของตัวอักษรและเส้น



รูปที่ 4.42 กลไกการการดูดซึมหมึกพิมพ์ของซิลิกา (12)

4.4 การออกแบบของผสม (Mixture design)

4.4.1 การผลิตสารเคลือบตามการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส

จากการวิเคราะห์สมบัติและคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ พบว่าสูตรของสารเคลือบที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆคือ ซิลิกา 12.50 กรัม ดินขาว 4.17 กรัม พอลิไวนิลอัลกอฮอร์ 5.33 กรัม ซีเอ็มซี 0.33 กรัม และน้ำ 78.00 กรัม จะให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนชั้นสารเคลือบสูงที่สุด สามารถผลิตเส้นขนาดเล็กที่สุด 1/8 พอยท์ได้ชัดเจน และสามารถผลิตตัวอักษรขนาดเล็กสุด 6 พอยท์ได้คมชัด สัดส่วนดังกล่าวเป็นเพียงแนวทาง เพื่อหาช่วงสัดส่วนของซิลิกา ดินขาวนราธิวาส และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในการนำไปใช้ในการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส ซึ่งได้เลือกช่วงของปริมาณองค์ประกอบทั้ง 3 เป็นดังตารางที่ 4.5 จากนั้นก็คำนวณน้ำหนักของสัดส่วนตามที่การออกแบบแบบซิมเพล็กแลททิสได้กำหนดดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ช่วงน้ำหนักของององค์ประกอบในการออกแบบของผสม

องค์ประกอบ	กรัม
ซิลิกา	7-13
ดินขาวนราธิวาส	3-7
พอลิไวนิลอัลกอฮอล์	4-6
น้ำ	78
ซีเอ็มซี	0.33

ตารางที่4.6 สัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆของสารเคลือบตามการออกแบบแบบซิมเพล็กเล็กทิส

สูตรที่	ซิลิกา (กรัม)	ดินขาว (กรัม)	พีวีเอ (กรัม)	ซีเอ็มซี (กรัม)	น้ำ (กรัม)	ร้อยละของแข็ง	ซิลิกา:ดินขาว	สัดส่วนของสารสีต่อสารยึด
1	13	3	4	0.33	78.00	20.67	81.25:18.75	100:25
2	7	7	4	0.33	78.00	19.03	50:50	100:28.57
3	7	3	6	0.33	78.00	17.31	70:30	100:40
4	10	5	4	0.33	78.00	19.86	66.67:33.33	100:26.67
5	10	3	5	0.33	78.00	19.03	76.92: 23.08	100:38.46
6	7	5	5	0.33	78.00	18.18	58.33:41.67	100:41.67
7	9	4.33	4.67	0.33	78.00	19.03	67.50:32.50	100:35.01
8	11	3.67	4.33	0.33	78.00	19.86	74.99:25.01	100:29.54
9	8	5.67	4.33	0.33	78.00	19.03	58.53:41.67	100:31.70
10	8	5.67	5.33	0.33	78.00	19.86	58.53:41.67	100:39.02
*11	13	3	4	0.33	78.00	20.67	81.25:18.75	100:25
*12	7	7	4	0.33	78.00	19.03	50:50	100:28.57
*13	7	3	6	0.33	78.00	17.31	70:30	100:40

* สูตรทำซ้ำเพื่อรวมความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองเข้าไปในแบบจำลองด้วย

ตารางที่4.7 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาวในสัดส่วนต่างๆ

สูตรที่	ความหนืด(cps)	ความเร็วรอบ	%Torque
1	139,000.0	0.2	92.8
2	694.4	40	92.6
3	980.8	20	65.4
4	886.3	20	55.7
5	935.8	20	62.3
6	381.7	40	50.8
7	504.6	40	67.2
8	1,209.0	20	80.7
9	241.4	100	80.5
10	584.1	40	78.1
11	141,000.0	0.2	93.7
12	691.4	40	92.2
13	982.3	20	65.5

หมายเหตุ *วัดด้วยเครื่องวัดความหนืดยี่ห้อ Brookfield Digital Viscometer: รุ่น LVDV-II+ เข็มเบอร์ 31 ที่อุณหภูมิ 26.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนืดของสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกา ดินขาวและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในสัดส่วนต่างๆ ตามที่กำหนดในการออกแบบแบบซิมเพล็ก พบว่าสารเคลือบที่มีปริมาณของซิลิกามากที่สุด ให้ค่าความหนืดที่สูงที่สุด และค่าความหนืดจะลดลงตามปริมาณของซิลิกาที่น้อยลงในสูตรอื่นๆ ปริมาณของซิลิกาจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเคลือบผิวโดยใช้ขดลวดเคลือบผิว ยิ่งสารเคลือบมีปริมาณของซิลิกาสูง ยิ่งมีผลทำให้เคลือบผิวได้ยากขึ้น

4.4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

1. คุณภาพของเส้นและตัวอักษร

การวิเคราะห์คุณภาพของเส้น นั้นจะพิจารณาจากขนาดของเส้นที่เล็กที่สุดที่สามารถผลิตได้ตาม QEA test target คือ เส้นพอสิทิฟ 1/8 พอยท์ และเส้น เนกาทีฟ 1/8 พอยท์ ซึ่งสามารถแสดงผลหลังการพิมพ์ลงบนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้จากสูตรสารเคลือบทั้ง 13 สูตรดังแสดงในตารางที่ 4.8 ตัวเลขที่แสดงในตารางหมายถึงขนาดเส้นที่สามารถผลิตได้ * หมายถึงเส้นที่ผลิตได้ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.8 คุณภาพของเส้นขนาดเล็กที่สุดของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้

SiO2:Kaolin	สัดส่วนของสารสีต่อสารยึด	คุณภาพของเส้นขนาดเล็กสุดที่ผลิตได้(พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
81.25:18.75 (สูตรที่ 1)	100:25	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
50:50 (สูตรที่ 2)	100:28.57	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
70:30 (สูตรที่ 3)	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8*	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/4*	1/8	1/4*	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/4*	1/8	1/4*	เนกาทีฟแนวนอน
66.67:33.33 (สูตรที่ 4)	100:26.67	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน

76.92: 23.08 (สูตรที่ 5)	100:38.46	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
58.33:41.67 (สูตรที่ 6)	100:41.67	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/4*	1/4*	1/4*	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/4*	เนกาทีฟแนวนอน
67.50:32.50 (สูตรที่ 7)	100:35.01	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
74.99:25.01 (สูตรที่ 8)	100:29.54	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
58.53:41.67 (สูตรที่ 9)	100:31.70	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
58.53:41.67 (สูตรที่ 10)	100:39.02	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/4*	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
81.25:18.75 (สูตรที่ 11)	100:25	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
50:50 (สูตรที่ 12)	100:28.57	1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน

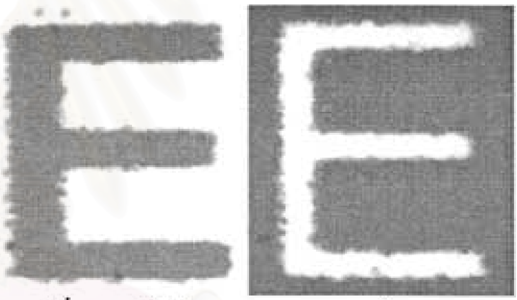
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	เนกาทีฟแนวนอน
70:30 (สูตรที่ 13)	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8*	พอสิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอสิทีฟแนวนอน
		1/8	1/4*	1/8	1/4*	เนกาทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/4*	1/8	1/4*	เนกาทีฟแนวนอน

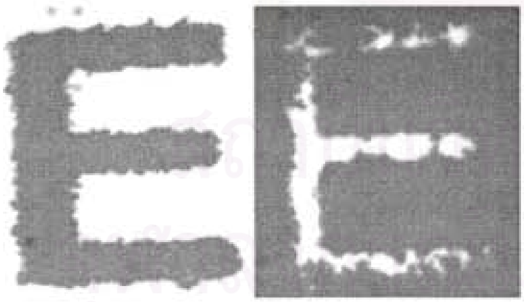
* สามารถผลิตเส้นได้แต่ไม่คมชัด

การวิเคราะห์คุณภาพของตัวอักษร นั้นจะพิจารณาจากขนาดของตัวอักษรที่เล็กที่สุดที่สามารถผลิตได้ตาม QEA test target คือ ตัวอักษรพอสิทีฟ 6 พอยท์ และตัวอักษรเนกาทีฟ 6 พอยท์ ซึ่งสามารถแสดงผลหลังจากการพิมพ์ลงบนกระดาษอิงค์เจ็ตที่ผลิตได้จากสูตรสารเคลือบทั้ง 13 สูตรได้ดังแสดงในภาพที่ 4.43-4.55

รูปที่ 4.43 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 1

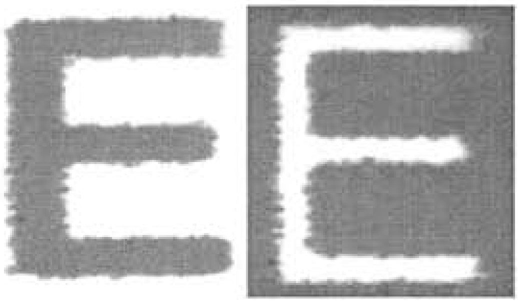


รูปที่ 4.44 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 2

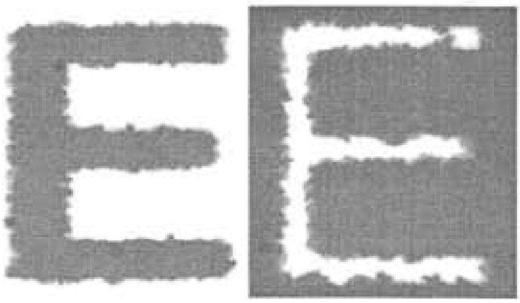


รูปที่ 4.45 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 3

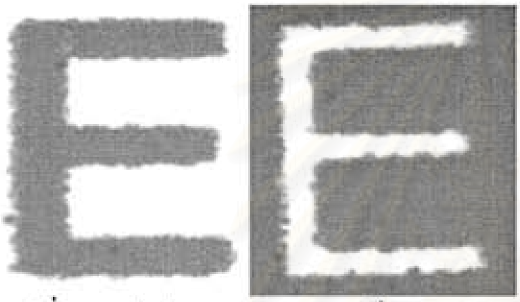
รูปที่ 4.46 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 4



รูปที่ 4.47 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 5

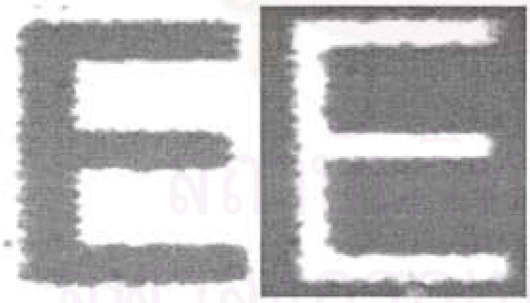


รูปที่ 4.48 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 6

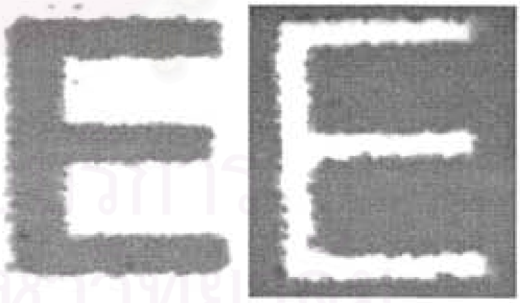


รูปที่ 4.49 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 7

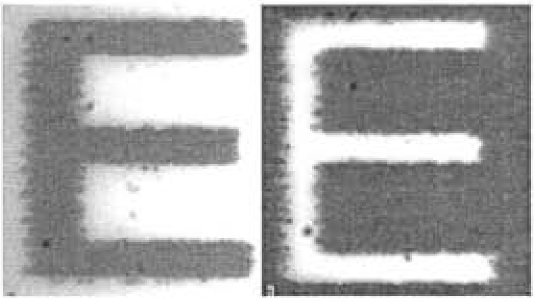
รูปที่ 4.50 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 8



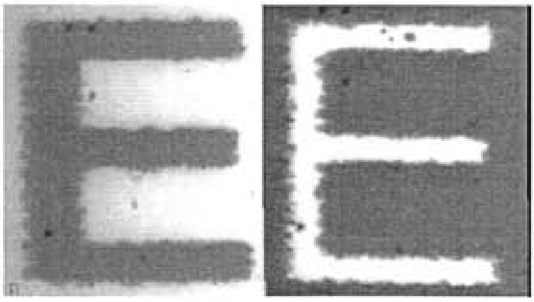
รูปที่ 4.51 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 9



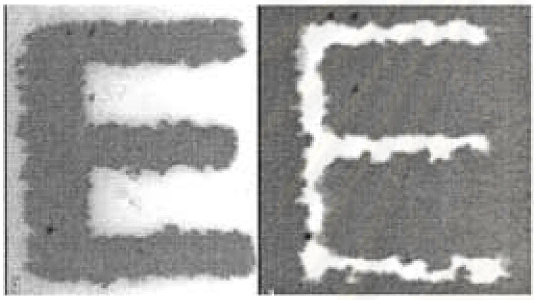
รูปที่ 4.52 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของกระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 10



รูปที่ 4.53 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของ
กระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 11



รูปที่ 4.54 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของ
กระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 12

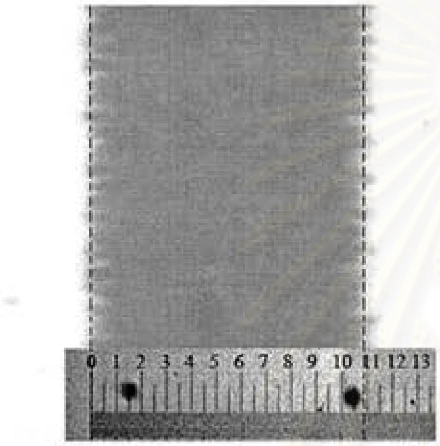


รูปที่ 4.55 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ของ
กระดาษของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

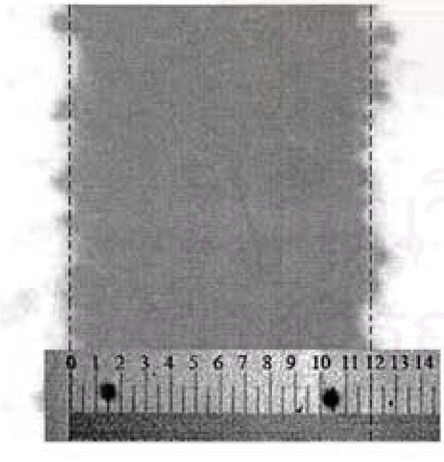
2. การซึมเข้าหากันของหมึก

การซึมเข้าหากันของหมึกเกิดขึ้นจากการซึมของหมึกพิมพ์ผ่านรูพรุนในสารเคลือบบนกระดาษไปยังตำแหน่งที่ไม่ต้องการทำให้เกิดการซ้อนทับกันของสีบริเวณรอยต่อของสี 2 สีโดยความสามารถในการซึมของหมึกแต่ละชนิดไม่เท่ากัน หลังจากการพิมพ์ QEA test target ลงบนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้จากสูตร สารเคลือบทั้ง 13 สูตร สามารถแสดงผลได้ดังรูป 4.56 - 4.68

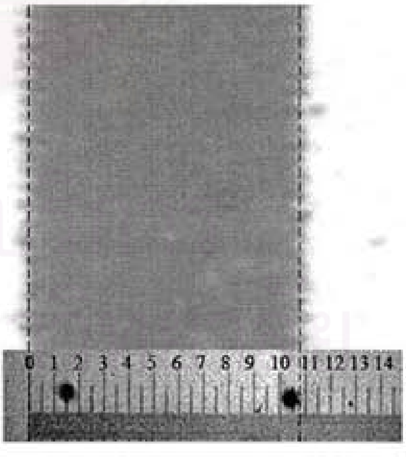


รูปที่ 4.56 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 1

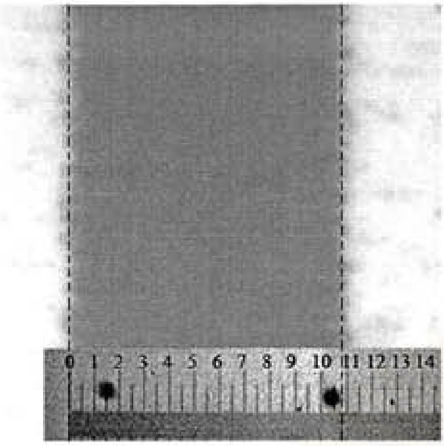
รูปที่ 4.57 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 2



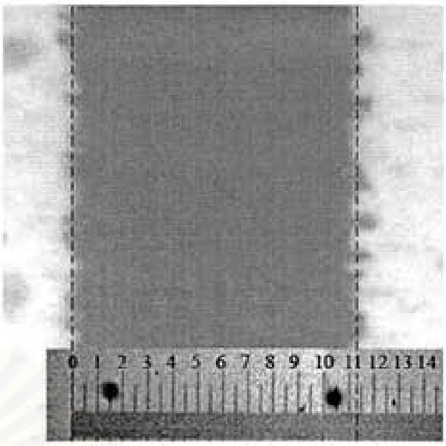
รูปที่ 4.58 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 3



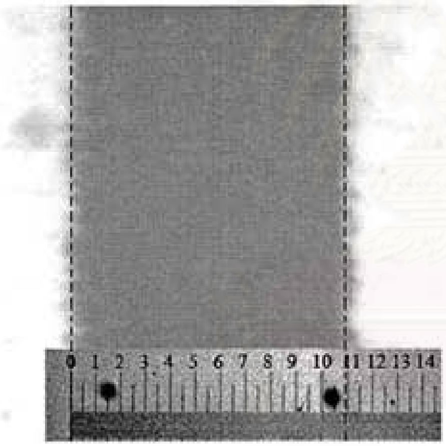
รูปที่ 4.59 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 4



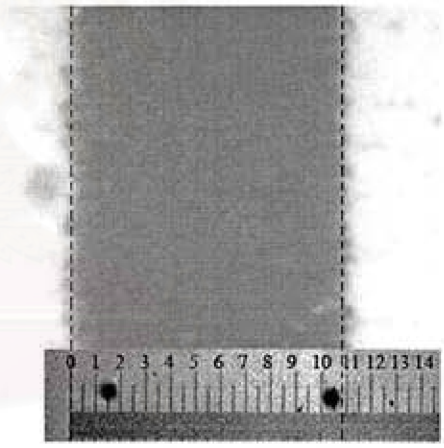
รูปที่ 4.60 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 5



รูปที่ 4.61 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 6

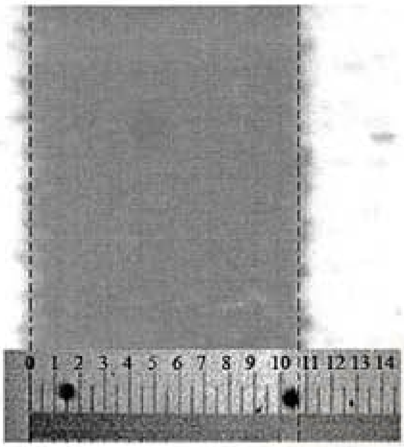


รูปที่ 4.62 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 7

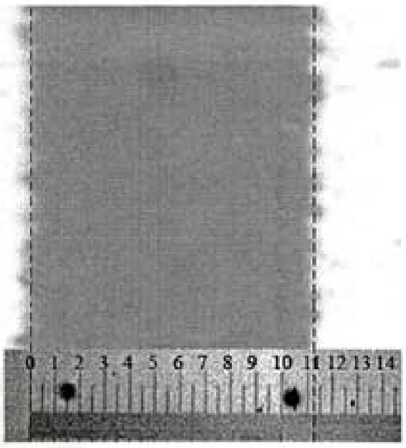


รูปที่ 4.63 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 8

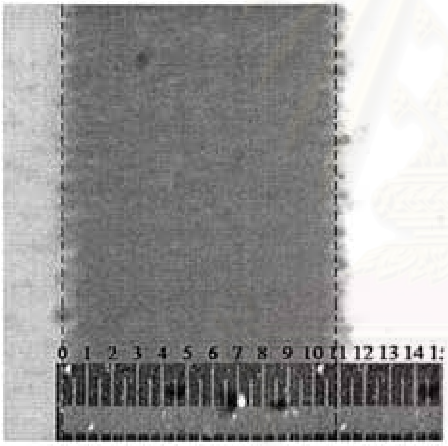
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



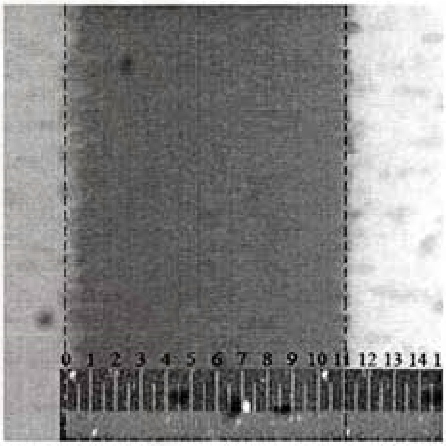
รูปที่ 4.64 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 9



รูปที่ 4.65 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 10

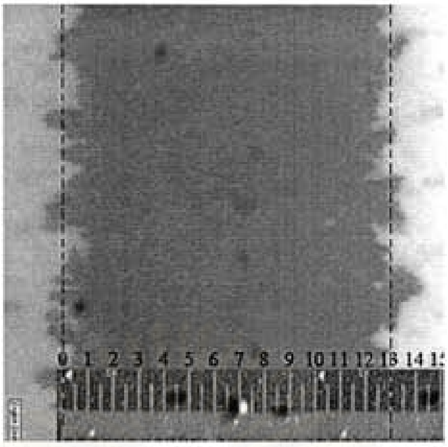


รูปที่ 4.66 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 11



รูปที่ 4.67 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 12

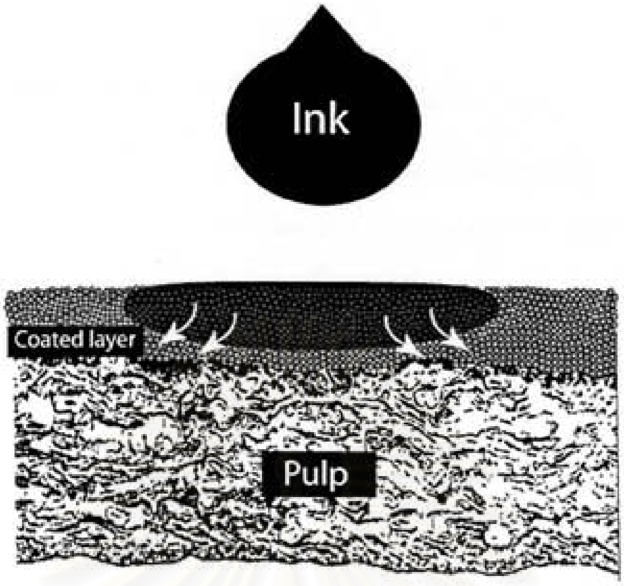
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



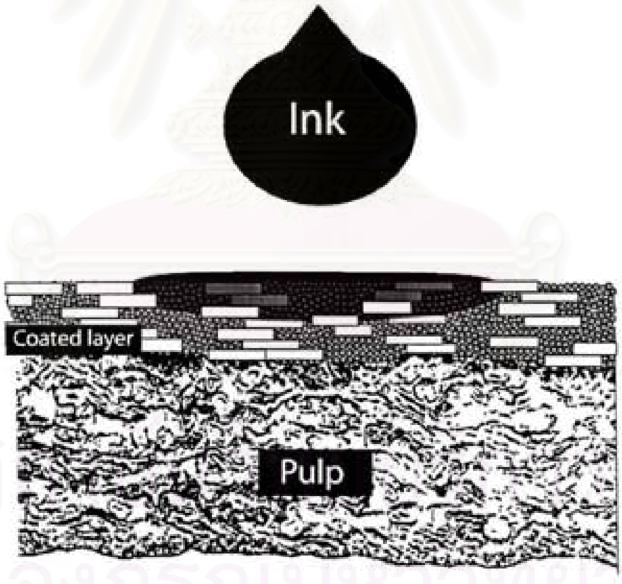
รูปที่ 4.68 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่ผลิตขึ้นจากสูตรที่ 13

ผลของคุณภาพของเส้น คุณภาพของตัวอักษร และการซึมเข้าหากันของหมึกจะเห็นว่ามีแนวโน้มเหมือนกัน คือ ในสูตรที่ 3 6 และ 10 เป็นสูตรของสารเคลือบที่ให้คุณภาพทางงานพิมพ์ที่ต่ำกว่าสูตรอื่นๆคือ ไม่สามารถผลิตเส้นและตัวอักษรขนาดเล็กที่สุดได้ หรือผลิตได้ในบางสีแต่ไม่คมชัด และมีค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกสูงกว่าสูตรอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสูตรที่ 3 6 และ10 จะเห็นว่า สูตรที่ 3 จะมีคุณภาพงานพิมพ์ที่ต่ำที่สุด ไม่สามารถผลิตตัวอักษรและเส้นขนาดเล็กที่สุดได้ มีค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกสูง จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าสูตรที่ 3 6 และ10 มีสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดสูงกว่าสูตรอื่น ๆคือประมาณ 100:40 แล สูตรที่ 3 มีปริมาณของซิลิกา น้อยกว่าสูตรที่ 6 และ10

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก การที่สารเคลือบมีปริมาณของสารยึดซึ่งคือ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ อยู่ในปริมาณมากเกินพอ จะทำให้หมึกพิมพ์จะไหลซึมไปตามพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่มีอยู่มากตามรูพรุนระหว่างอนุภาคของซิลิกา เนื่องจากหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำที่สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ที่มีอยู่ในปริมาณมากในสารเคลือบ และหมึกพิมพ์จะไหลซึมไปยังรูพรุนภายในอนุภาคของซิลิกา ยิ่งมีปริมาณของซิลิกามากการไหลซึมของหมึกพิมพ์ก็จะเป็นไปได้มากแสดงได้ดังรูปที่ 4.69 แต่การไหลซึมของหมึกพิมพ์จะหยุดลงเมื่อเจอกับอนุภาคของดินขาว ที่มีขนาดแบนใหญ่และไม่มีรูพรุน อนุภาคของดินขาวจะไปดักกั้นหมึกพิมพ์บางส่วนไม่ให้ไหลซึมต่อไปได้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.69 กลไกลการไหลซึมของหมึกพิมพ์ในชั้นสารเคลือบที่มีซิลิกาอยู่มาก



รูปที่ 4.70 กลไกลการไหลซึมของหมึกพิมพ์ในชั้นสารเคลือบที่มีซิลิกาและดินขาว

4.4.2 ผลของการออกแบบของผสม

หลังจากที่ได้ผลิตกระดาษอิงก์เจ็ตจากสารเคลือบทั้ง 13 สูตรแล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษอิงก์เจ็ตและทำการพิมพ์และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งสมบัติต่าง ๆ และคุณภาพงานพิมพ์ที่นอกเหนือจากคุณภาพของเส้นและตัวอักษรสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.9 ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสมบัติของกระดาษและคุณภาพงานพิมพ์ จะมาจากปริมาณของซิลิกา ดินขาว และพอลิไวนิลอัลกอฮอร์ที่มีสัดส่วนต่าง ๆ กันในแต่ละสูตร

ตารางที่ 4.9 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซิลิกา ดินขาวและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ในสัดส่วนต่างๆ

	ความทึบแสง	ความขาวสว่าง	ความขาว	น้ำหนักสารเคลือบ (g/m^2)	ร้อยละการซึมหมึก (%)	ความดำของหมึกพิมพ์			
						C	M	Y	K
สูตรที่ 1	97.75	90.91	106.48	21.3	8	0.899	1.251	0.731	1.397
สูตรที่ 2	97.83	88.97	99.92	18.35	9	0.917	1.277	0.729	1.389
สูตรที่ 3	97.36	93.48	116.11	17.25	20	0.872	1.263	0.763	1.456
สูตรที่ 4	98.10	90.19	101.02	18.65	7	0.946	1.321	0.745	1.509
สูตรที่ 5	97.48	92.12	109.28	17.85	9	0.978	1.329	0.759	1.512
สูตรที่ 6	98.40	91.63	111.19	19.4	13	0.929	1.328	0.764	1.580
สูตรที่ 7	97.38	91.89	109.42	16.1	9	0.959	1.318	0.754	1.524
สูตรที่ 8	97.68	91.40	108.29	19.25	9	0.915	1.280	0.715	1.468
สูตรที่ 9	97.91	90.18	103.96	20.2	6	0.937	1.317	0.743	1.499
สูตรที่ 10	97.78	89.90	102.04	19.0	11.3	0.943	1.309	0.744	1.488
สูตรที่ 11	97.07	92.63	112.43	19.01	9	0.907	1.266	0.721	1.446
สูตรที่ 12	97.63	89.15	101.26	18.04	10	0.910	1.299	0.716	1.437
สูตรที่ 13	96.89	93.95	117.04	19.45	30	0.897	1.233	0.746	1.449

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมด ใส่ในโปรแกรม MINITAB โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการวิเคราะห์และคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ซึ่งคือสัดส่วนของซิลิกา ดินขาวนราธิวาส และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และตัวแปรตอบสนองซึ่งคือ ค่าความดำของสีดำ ค่าความ

ทำนายค่าของตัวแปรตอบสนองที่เกิดจากตัวแปรอิสระในสัดส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบของกราฟ ไตรลิเนียร์โคออดิเนตได้

4.4.2.1 ความขาวของกระดาษเคลือบผิว

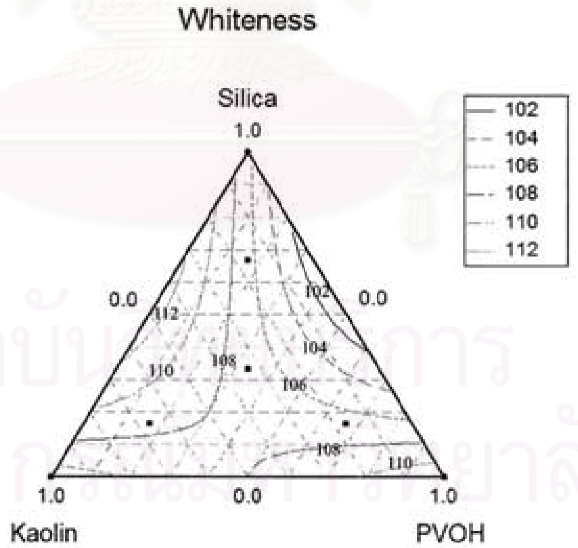
จากการคำนวณข้อมูลของค่าความขาวและสัดส่วนขององค์ประกอบทั้ง 3 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MINITAB สามารถสร้างแบบจำลองของค่าความขาวได้คือ

$$\textbf{ความขาว} = 106.47X_1 + 105.02X_2 + 111.70X_3 + 28.44\,X_1X_2 + (-32.84)X_1X_3 + (-1.24)X_2X_3 \quad (4.1)$$

โดยที่ X_1 คือ ซิลิกา X_2 คือ ดินขาว และ X_3 คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ถ้ามีซิลิกา 7 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 0) ดินขาว 5 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 1/2) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 1/2) กระดาษเคลือบผิวที่เคลือบด้วยสูตรนี้จะให้ค่าความขาวดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ความขาว} &= 106.47(0) + 105.02(0.5) + 111.70(0.5) + 28.44(0)(0.5) + (-32.84)(0)(0.5) \\ &\quad + (-1.24)(0.5)(0.5) \\ &= 108.05 \end{aligned}$$

จากแบบจำลองของค่าความขาวสามารถแสดงเป็นกราฟไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนตได้ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.71 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตของค่าความขาว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error, SE) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมในแบบจำลองแบบควอดราติก ($\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$) มีค่าต่ำกว่าค่า SE ของสัมประสิทธิ์มาก บางครั้งผู้ทำการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมอาจตัด 3 พจน์นี้ ทิ้วไปเพื่อลดขนาดแบบจำลองลง (14)

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของค่าความขาว

Term	Coefficient	SE ของสัมประสิทธิ์
X_1	106.47	3.870
X_2	105.02	3.870
X_3	110.70	3.870
X_1X_2	28.44	70.005
X_1X_3	-32.84	70.005
X_2X_3	-1.24	70.005

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2.2 ความดำของสีดำ

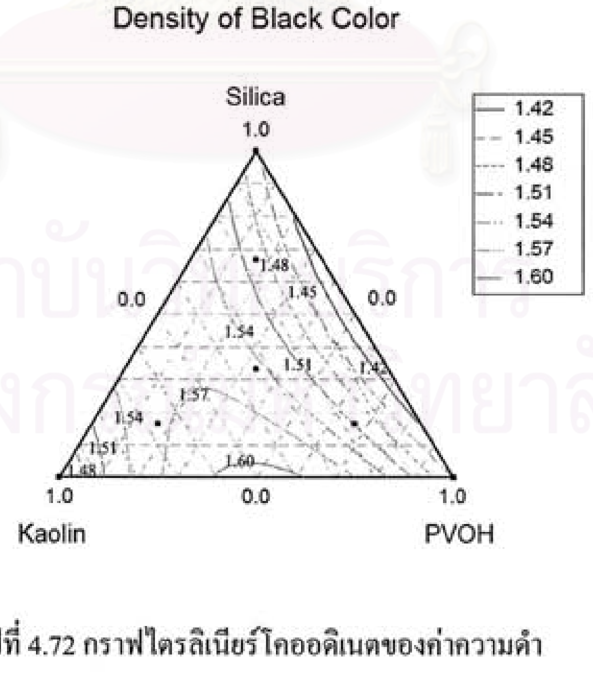
จากการคำนวณข้อมูลของค่าความดำของสีดำและสัดส่วนองค์ประกอบทั้ง 3 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MINITAB สามารถสร้างแบบจำลองของค่าความดำได้คือ

$$\textbf{ความดำ} = 1.4561X_1 + 1.4424X_2 + 1.4487X_3 + 0.4660X_1X_2 + (-0.2440)X_1X_3 + 0.6540X_2X_3 \quad (4.2)$$

โดยที่ X_1 คือ ซิลิกา X_2 คือ ดินขาว และ X_3 คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ถ้ามีซิลิกา 8 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 1/6) ดินขาว 5.667 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 1/6)และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5.333 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 2/3) จะมีค่าความขาวเกิดขึ้นจากสัดส่วนนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ความดำ} &= 1.4561(0.1667) + 1.4424(0.1667) + 1.4487(0.6667) + 0.4660(0.1667)(0.1667) \\ &\quad + (-0.2440)(0.1667)(0.6667) + 0.6540(0.1667)(0.6667) \\ &= 1.5075 \end{aligned}$$

จากแบบจำลองของค่าความดำของสีดำสามารถแสดงเป็นกราฟไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนตได้ดังรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.72 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตของค่าความดำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error,SE) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมในแบบจำลองแบบควอดราติกมีค่ามากกว่า ($\beta_1\beta_2,,\beta_3$)มีค่าใกล้เคียง($\beta_{12},\beta_{13},\beta_{23}$) กับค่า SE ของสัมประสิทธิ์จึงจำเป็นต้องคงทุกพจน์ไว้(14)

ตารางที่ 4.11 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของค่าความดำ

Term	Coefficient	SE ของสัมประสิทธิ์
X_1	1.4561	0.02469
X_2	1.4424	0.02469
X_3	1.4424	0.02469
X_1X_2	0.4660	0.44664
X_1X_3	-0.2440	0.44664
X_2X_3	0.6540	0.44664

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2.3 ร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึก

จากการคำนวณข้อมูลของค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกและสัดส่วนขององค์ประกอบทั้ง 3 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MINITAB สามารถสร้างแบบจำลองของค่าความร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกได้คือ

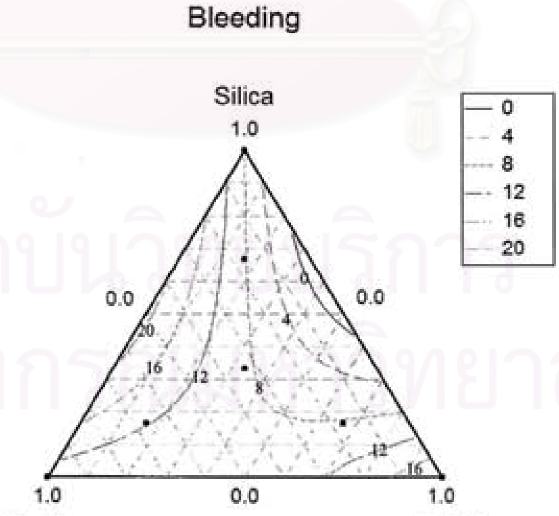
ร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึก $= 8.06\ X_1 + 9.83\ X_2 + 20.06\ X_3 + 48.35\ X_1X_2 + (-61.05)\ X_1X_3 + (-23.65)\ X_2X_3$ (4.3)

โดยที่ X_1 คือ ซิลิกา X_2 คือ ดินขาว และ X_3 คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ถ้ามีซิลิกา 13 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 1) ดินขาว 3 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 0)และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 4 กรัม (คิดเป็นสัดส่วน 0) จะมีค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกเกิดขึ้นจากสัดส่วนนี้คือ

ร้อยละของการล้นเลอะ $= 8.06\ (1) + 9.83\ (0) + 20.06\ (0) + 48.35\ (1)\ (0) + (-61.05)(1)(0) + (-23.65)\ (0)(0)$

$= 8.06$

จากแบบจำลองของค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกสามารถแสดงเป็นกราฟไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนตได้ดังรูปที่ 4.73



รูปที่ 4.73 กราฟไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนตของของการซึมเข้าหากันของหมึก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error,SE) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมในแบบจำลองแบบควอดราติก (β_{13},β_{23}) มีค่าต่ำกว่าค่า SE ของสัมประสิทธิ์มาก บางครั้งผู้ทำการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมอาจตัด 2 พจน์นี้ ทิ้งไปเพื่อลดขนาดแบบจำลองลง (14)

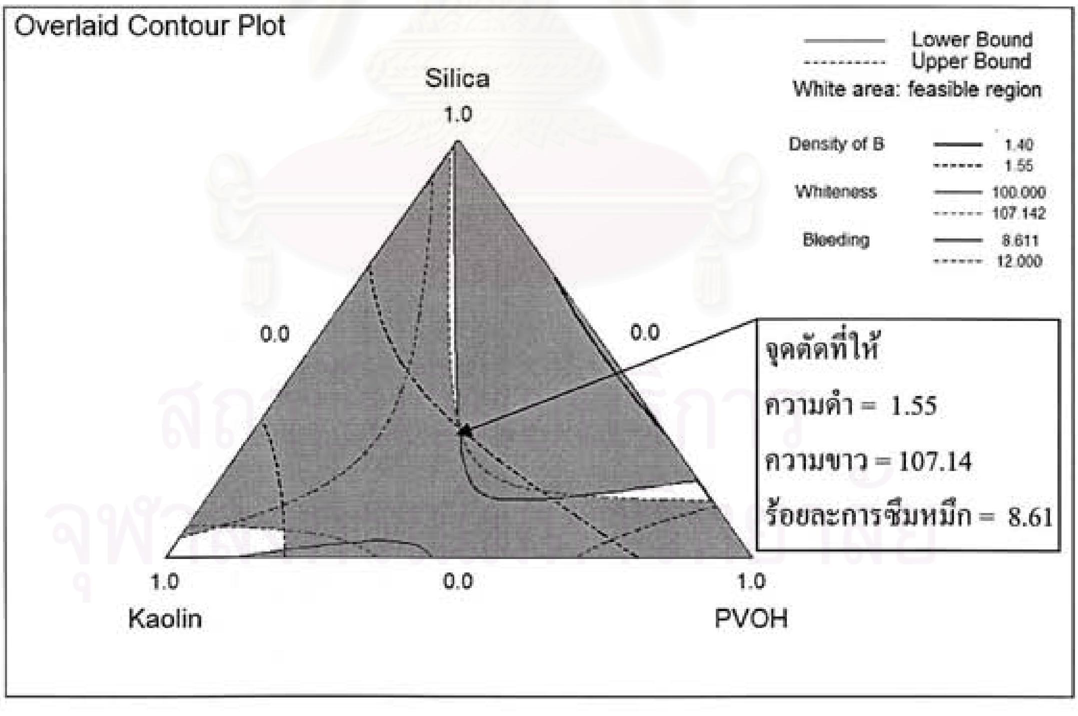
ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ กับ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของของการซึมเข้าหากันของหมึก

Term	Coefficient	SE ของสัมประสิทธิ์
X_1	8.06	3.186
X_2	9.83	3.186
X_3	20.06	3.186
X_1X_2	48.35	57.630
X_1X_3	-61.05	57.630
X_2X_3	-23.65	57.630

4.4.2.4 สูตรของสารเคลือบที่ดีที่สุด

จากแบบจำลองของค่าความขาว ค่าความดำของสีดำ และค่าร้อยละของการซึมของหมึกทั้งหมด 3 แบบจำลอง โปรแกรม MINITABS สามารถคำนวณหาสูตรของสารเคลือบที่ดีที่สุด โดยจะทำการกำหนดค่าความขาว ค่าความดำ และค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึกที่ต้องการ โปรแกรมก็จะคำนวณหาสัดส่วนต่าง ๆให้ได้ตามที่กำหนด ซึ่งสูตรที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ให้ค่าขาวของผิวหน้ากระดาษสูง ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูง และมีค่าร้อยละการซึมของหมึกต่ำ ในเวลาเดียวกัน

สัดส่วนที่ดีที่สุดที่คำนวณได้คือ ซิลิกาจะมีสัดส่วนเท่ากับ 0.3110 ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักจริงได้คือ **8.8708 กรัม** ดินขาวจะมีสัดส่วนเท่ากับ 0.3435 ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักจริงได้คือ **4.3740 กรัม** และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีสัดส่วนเท่ากับ 0.3454 ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักจริงได้คือ **4.6908 กรัม** โดยสัดส่วนต่างๆทั้งหมดนี้จะให้ค่าความดำของสีดำเท่ากับ **1.55** ค่าความขาวของผิวหน้ากระดาษเท่ากับ **107.14** และค่าร้อยละการซึมหมึกเท่ากับ **8.61** ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนตได้ดังรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.74 กราฟไตรลิเนียร์โคออดิเนตแสดงจุดตัดของเส้นกราฟของสมบัติต่างๆ สำหรับสูตรสารเคลือบที่ดีที่สุด

4.4.3 การทดสอบแบบจำลอง

จากสัดส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งซิลิกาจะมีน้ำหนัก 8.708 กรัม ดินขาวจะมีน้ำหนัก 4.3740 กรัม และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีน้ำหนัก 4.6908 กรัม จึงได้ทำการผลิตกระดาษเคลือบผิวจากสูตรสารเคลือบที่ดีที่สุดที่ได้คำนวณขึ้นซึ่งให้สมบัติของสารเคลือบตามตารางที่ 4.13 และสมบัติของกระดาษและคุณภาพงานพิมพ์ตามตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 สมบัติของสารเคลือบสำหรับสูตรสารเคลือบที่ดีที่สุด

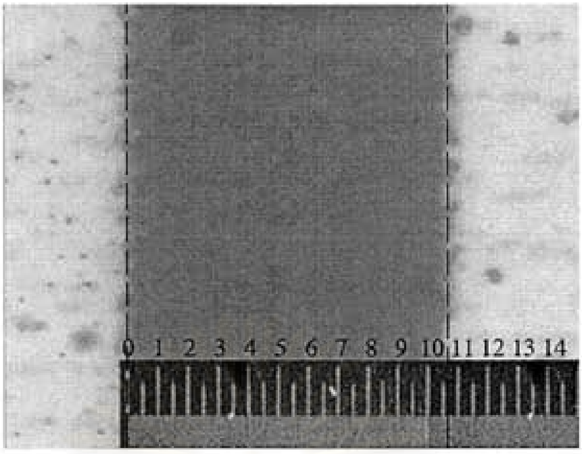
ความหนืด (cps)	ความเร็วรอบ	%Torque	อุณหภูมิ
1833	1.5	91.5	27.5

หมายเหตุ *วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield Digital Viscometer รุ่น LVDV-II+ เข็มเบอร์ 18

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลอง

ความขาว		ร้อยละการซึมของหมึก(%)		ความดำของหมึกพิมพ์สีดำ	
จากสมการ	จากการทดลอง	จากสมการ	จากการทดลอง	จากสมการ	จากการทดลอง
107.14	109.99	8.61	6	1.55	1.50

รูปที่ 4.75 ตัวอักษรเนกาทิฟ (ซ้าย) และตัวอักษรพอซิทิฟ (ขวา) ขนาด 6 พอยท์



รูปที่ 4.86 ความกว้างของเส้นสีดำ ที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ซิลิกาที่ได้จากการสังเคราะห์จากขี้เถ้าแกลบ เป็นซิลิกาชนิดอสัณฐานมีปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง รูปร่างอนุภาคกลม อนุภาคมีขนาดเล็ก และดินขาวนราธิวาสมี รูปร่างแบนราบ มีพื้นที่ผิวและรูพรุนต่ำ การใช้ดินขาวนราธิวาสเป็นสารสีร่วมกับซิลิกาที่ได้จากขี้เถ้าแกลบในสัดส่วนที่เหมาะสม จะทำให้งานพิมพ์มีคุณภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าการใช้ซิลิกาเป็นสารสีชนิดเดียว นอกจากนี้การใช้ดินขาวนราธิวาสเป็นสารสีร่วมกับซิลิกายังทำให้ได้สารเคลือบที่มีค่าความหนืดต่ำ มีร้อยละของของแข็งสูงขึ้น และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของหมึกพิมพ์สีดำกับซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถแสดงได้ตามแบบจำลองต่อไปนี้

ความดำ $= 1.4561X_1 + 1.4424X_2 + 1.4487X_3 + 0.4660X_1X_2 - 0.2440X_1X_3 + 0.6540X_2X_3$

ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวของกระดาษเคลือบผิวกับซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถแสดงได้ตามแบบจำลองต่อไปนี้

ความขาว $= 106.47X_1 + 105.02X_2 + 111.70X_3 + 28.44\,X_1X_2 - 32.84X_1X_3 - 1.24)X_2X_3$

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกกับซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถแสดงได้ตามแบบจำลองต่อไปนี้

ร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึก $= 8.06\,X_1 + 9.83\,X_2 + 20.06\,X_3 + 48.35\,X_1X_2 - 61.05\,X_1X_3 - 23.65\,X_2X_3$

3. สัดส่วนที่ดีที่สุดที่ให้ค่าความดำของสีดำเท่ากับ 1.55 ความขาวของกระดาษเท่ากับ 107.14 และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกเท่ากับ 8.16 คือ

ซิลิกา	9.22 % โดยน้ำหนัก
ดินขาว	4.54 % โดยน้ำหนัก
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	4.87 % โดยน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. แบบจำลองที่ได้จากการออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กแลททิส โดยใช้สมการควอดราติก สามารถใช้ทำนายคุณภาพทางการพิมพ์และสมบัติของกระดาษได้ใกล้เคียงกับคุณภาพทางงานพิมพ์และสมบัติของกระดาษที่เกิดจากการทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการปรับปรุงสมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบและดินขาวนราธิวาสเป็นสารสีร่วมกัน มีพอลิไวนิลอัลกอฮอล์เป็นสารยึดและมีซีเอ็มซีเป็นสารยึดร่วม ควรมีการใส่สารเติมแต่งเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ และการนำดินขาวนราธิวาสมาใช้ ควรทำการฟอกสีเพื่อสกัดเอาโลหะออกจากอนุภาค ทำให้ได้อนุภาคที่มีความขาวมากขึ้น เหมาะสมกับการผลิตเป็นสารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต

สำหรับงานวิจัยต่อไป ที่มีการใช้การออกแบบส่วนผสมควรมีการแบ่งช่วงระหว่างจุดต่าง ๆ ให้มากขึ้นหรือมีการทำการทดลองซ้ำอย่างน้อยหนึ่งครั้งเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สุพิณ ต่างวิวัฒน์. การผลิตซิลิกาเจลดูดความชื้นจากขี้เถาแกลบ. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
2. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology : Amorphous, 3rd ed, New York : John Wiley and Sons, 1982.
3. Casey, J.P., Pulp and paper Chemistry and Chemical Technology, 4. New York Brisbane Toronto Singapore : John Wiley & Sons, 1983.
4. Celanese chemicals. Celvol™ polyvinyl alcohol for ink jet printing paper, 2002.
5. โสภณ เริงสำราญ, ปราณี รัตนวลีดิโรจน์ และศรีไฉล ขุนทน. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

6 ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัทเยื่อสยาม. น้ำยาเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ต. บทที่7. เครือปูนซีเมนต์ไทย.

7. Kipphan, H., Handbook of Print Media Technologies and Production Methods. Germany : Springer, 2001.
8. อุทุมพร เวทยสุขุม. ผลของอัตราส่วนของซิลิกาต่อคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในสารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตต่อคุณภาพงานพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
9. Chapman, D.M. Coating Structure effects on ink-jet printing quality. Coating Conference 1997 : 73-93.
10. Malla, B.P.and Devisetti, S., Novel Kaolin Pigment for High Solids Ink Jet Coating, PITA Coating Conference 2005 : 1-9.
11. Karathanasis, M. New porous silica pigment in coated paper for ink jet printing[online] Available from:http://www.stfi.se/document/master/trycklar.htm [2002,October 17]
12. Nariaki M., Masahiro K. Ink absorption Mechanism of Silica Based Ink Jet Paper Coating, NIP16 2000 : 221-224.
13. Grafton, D.R., The Effect of Clay-Adhesive Interaction on the Structure of Coatings, The Institute of Paper Chemistry 1968 : pp.55-56.
14. Snee, D.R., Developing Blendung Models for Gasoline and Other Mixtures. Technometrics 23, 2 (1981)

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Regression for Mixtures: Density of Black versus Silica, Kaolin, PVOH

Estimated Regression Coefficients for Density of (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Silica	1.4561	0.02469	*	*	1.201
Kaolin	1.4424	0.02469	*	*	1.201
PVOH	1.4487	0.02469	*	*	1.201
Silica*Kaolin	0.4660	0.44664	1.04	0.331	4.114
Silica*PVOH	-0.2440	0.44664	-0.55	0.602	4.114
Kaolin*PVOH	0.6540	0.44664	1.46	0.187	4.114

S = 0.042819　　PRESS = 0.082083
R-Sq = 61.70%　　R-Sq(pred) = 0.00%　　R-Sq(adj) = 34.35%

Analysis of Variance for Density of (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.020679	0.020679	0.004136	2.26	0.159
Linear	2	0.000040	0.000281	0.000140	0.08	0.927
Quadratic	3	0.020639	0.020639	0.006880	3.75	0.068
Residual Error	7	0.012834	0.012834	0.001833		
Lack-of-Fit	1	0.002243	0.002243	0.002243	1.27	0.303
Pure Error	6	0.010591	0.010591	0.001765		
Total	12	0.033513				

Regression for Mixtures: Whiteness versus Silica, Kaolin, PVOH

Estimated Regression Coefficients for Whiteness (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Silica	106.47	3.870	*	*	1.201
Kaolin	105.02	3.870	*	*	1.201
PVOH	111.70	3.870	*	*	1.201
Silica*Kaolin	28.44	70.005	0.41	0.697	4.114
Silica*PVOH	-32.84	70.005	-0.47	0.653	4.114
Kaolin*PVOH	-1.24	70.005	-0.02	0.986	4.114

S = 6.7114　　PRESS = 2118.4
R-Sq = 19.62%　　R-Sq(pred) = 0.00%　　R-Sq(adj) = 0.00%

Analysis of Variance for Whiteness (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	76.94	76.94	15.389	0.34	0.872
Linear	2	64.17	73.94	36.972	0.82	0.478
Quadratic	3	12.77	12.77	4.258	0.09	0.961
Residual Error	7	315.30	315.30	45.043		
Lack-of-Fit	1	59.39	59.39	59.393	1.39	0.283
Pure Error	6	255.91	255.91	42.651		
Total	12	392.24				

Regression for Mixtures: Bleeding versus Silica, Kaolin, PVOH

Estimated Regression Coefficients for Bleeding (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Silica	8.06	3.186	*	*	1.201
Kaolin	9.83	3.186	*	*	1.201
PVOH	20.06	3.186	*	*	1.201
Silica*Kaolin	48.35	57.630	0.84	0.429	4.114
Silica*PVOH	-61.05	57.630	-1.06	0.325	4.114
Kaolin*PVOH	-23.65	57.630	-0.41	0.694	4.114

S = 5.5250 PRESS = 578.17
R-Sq = 57.84% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 27.72%

Analysis of Variance for Bleeding (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	293.112	293.112	58.622	1.92	0.209
Linear	2	222.870	251.842	125.921	4.13	0.066
Quadratic	3	70.242	70.242	23.414	0.77	0.548
Residual Error	7	213.679	213.679	30.526		
Lack-of-Fit	1	4.152	4.152	4.152	0.12	0.742
Pure Error	6	209.527	209.527	34.921		
Total	12	506.791				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอนันต์ เขมพาณิชย์กุล เกิดวันที่ 19 มีนาคม 2524 จังหวัดสตูล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2544 และเข้าศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย