ผลของซิลิกาจากเถ้าแกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต

นางสาวจิรานี กุลวรรณวิจิตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF SILICA FROM RICE HUSK ASH, NEW ZEALAND KAOLIN AND GROUND CALCIUM CARBONATE ON PHYSICAL PROPERTIES AND PRINT QUALITY OF COATED INK JET PAPER

Miss Chiranee Kullawanwichit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501730

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของซิลิกาจากเถ้าแกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต
โดย	นางสาวจิรานี กุลวรรณวิจิตร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุพิณ แสงสุข

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. สุพิณ แสงสุข)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ)

นางสาวจิรานี กุลวรรณวิจิตร : ผลของซิลิกาจากเถ้าแกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดต่อสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต (EFFECTS OF SILICA FROM RICE HUSK ASH, NEW ZEALAND KAOLIN AND GROUND CALCIUM CARBONATE ON PHYSICAL PROPERTIES AND PRINT QUALITY OF COATED INK JET PAPER) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.พิชญดา เกตุเมฆ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สุพิณ แสงสุข, 110 หน้า.

สารสีเป็นองค์ประกอบหลักในสารเคลือบผิวกระดาษอิงก์เจ็ต ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผิวหน้ากระดาษให้รับหมึกได้ดี ปกปิดเส้นใยกระดาษ ให้ความขาวสูง ให้ความทึบแสงสูง สารสีต่างชนิดกันถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ ซิลิกาเป็นสารสีหลักในสารเคลือบผิวกระดาษอิงก์เจ็ต และซิลิกาหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากมีความพรุนสูง ส่วนสารสีอื่นจะถูกนำมาใช้ในปริมาณน้อยเพื่อเป็นสารสีร่วม ในงานวิจัยนี้ศึกษาหาสัดส่วนของสารสีซึ่งได้แก่ ซิลิกาจากเถ้าแกลบ (ร้อยละ 50 – 100) ดินขาวนิวซีแลนด์ (ร้อยละ 0 – 50) และแคลเซียมคาร์บอเนตบด (ร้อยละ 0 – 50) ต่อน้ำหนักสารเคลือบผิว ความขาว ความขาวสว่าง ความทึบแสง โดยมีสารยึดและตัวทำละลายในปริมาณคงที่ ในสัดส่วนสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ที่ร้อยละของแข็ง 22 เพื่อศึกษาผลของสารสีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว (น้ำหนักสารเคลือบ ความขาว ความขาวสว่าง ความทึบแสง) และคุณภาพงานพิมพ์ (การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ และความดำของหมึกพิมพ์) จากผลการทดลองสามารถสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อสมบัติทั้ง 6 ประการข้างต้น และสามารถหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารสีในสารเคลือบที่ให้ความดำของหมึกพิมพ์อยู่ในช่วง 1.32 – 1.37 ความขาวในช่วง 106 – 107 ความทึบแสงในช่วง 92 - 93 และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกในช่วง 4 - 4.5 คือซิลิการ้อยละ 79 - 85 ดินขาวนิวซีแลนด์ร้อยละ 8 - 17 และแคลเซียมคาร์บอเนตบดร้อยละ 0.3 – 11 เมื่อพิจารณาผลของสารสีแต่ละชนิดต่อสมบัติต่าง ๆ พบว่าซิลิกาจะให้ความขาวสูงขึ้น ความดำของหมึกพิมพ์สูงขึ้น และการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ต่ำลง ในขณะที่ดินขาวนิวซีแลนด์มีผลต่อน้ำหนักสารเคลือบสูงขึ้น ความทึบแสงสูงขึ้น แต่ให้ความขาวลดลง และแคลเซียมคาร์บอเนตบดให้ความขาวสูงขึ้น ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงขึ้น และให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์ต่ำลง

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่าย
และเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต.....จิรานี กุลวรรณวิจิตร.....
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....พิชญดา เกตุเมฆ.....
ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....สุพิณ แสงสุข.....

4872243923 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: SILICA / KAOLIN / CALCIUMCARBONATE / INKJET PAPER / COATINGS

CHIRANEE KULLAWANWICHIT : EFFECTS OF SILICA FROM RICE HUSK ASH, NEW ZEALAND KAOLIN AND GROUND CALCIUM CARBONATE ON PHYSICAL PROPERTIES AND PRINT QUALITY OF COATED INK JET PAPER .THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PICHAYADA KATEMAKE, Ph.D., THESIS CO ADVISOR : SUPIN SANGSUK, Ph.D.,110 pp.

Pigment is the main component of a receiver layer of the coated inkjet paper. The pigment – coated inkjet papers give a homogeneous surface, hide cellulose fibers and increase whiteness as well as opacity. Several different types of pigments are used in coating to provide the desired properties. Silica is the major pigment used in the inkjet receiver layer and numerous variations of silica are used because of its high porosity. A number of other pigments are used in inkjet paper coating in minor amounts. In this research, the optimum pigments ratio used in coating for inkjet paper was determined using mixture design. Effects of pigments proportions which were silica from rice husk (50 – 100%), New Zealand kaolin (0 – 50%) and calcium carbonate (0 – 50%) on physical paper properties (coat weight, whiteness, brightness, opacity) and print qualities (inter – color bleed and ink density) were investigated. Significant regression models which explained the effects of different ratios of pigments on all response variables were determined. Based on the superimposed contour plot, the formulation for production of inkjet paper coating with black ink density of 1.32 – 1.37, whiteness of 106 – 107, opacity of 92 – 93 and inter – color bleeding of 4 – 4.5 was obtained by incorporating with 79 – 85% of silica, 8 – 17% of New Zealand kaolin and 0.3 – 11% of calcium carbonate. It was found that silica from rice husk increased whiteness of paper and black ink density as well as reduced inter-color bleeding. New Zealand kaolin increased coat weight and opacity but it decreased whiteness of paper. Calcium carbonate increased whiteness of paper and inter-color bleeding but it decreased black ink density.

Department of Imaging and Printing Technology Student's signature Chiranee Kullawanwichit

Field of Study Imaging Technology Advisor's signature Pichayada K

Academic year 2007 Co-advisor's signature Supin Sangsuk

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พิชญดา เกตุเมฆ และ ดร. สุพิณ แสงสุข อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำแนะนำ และดูแลในการทำงาน ให้ความรู้และความเอาใจใส่ต่อปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ และบุคคลากรในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอบคุณเพื่อน และน้อง ๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์และภาควิชาปิโตรเคมีที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ และให้กำลังใจตลอดเวลา

ขอขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่และพี่ชายที่คอยเป็นห่วง ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาตลอดเวลา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฎ
สารบัญภาพ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
ขอบเขตงานวิจัย..... 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 3
2.1.1 โครงสร้างสารเคลือบกระดาษ..... 3
2.1.2 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (Silica or Silicon dioxide;SiO_2)... 5
2.1.2.1 โครงสร้างของซิลิกา..... 5
2.1.2.2 ลักษณะของซิลิกา..... 6
2.1.2.3 รูปแบบซิลิกา..... 6
2.1.3 ดินขาว (Kaolin)..... 8
2.1.3.1 โครงสร้างของดินขาว..... 8
2.1.3.2 ผลของดินขาวต่อสมบัติของกระดาษเคลือบผิว..... 9
2.1.4 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate;$CaCO_3$)..... 10
2.1.4.1 การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต..... 10
2.1.4.2 กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต..... 12
2.1.4.3 รูปแบบแคลเซียมคาร์บอเนต..... 13
2.1.4.4 แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมกระดาษ..... 15
2.1.5 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly vinyl alcohol; PVA)..... 16

หน้า

2.1.5.1 สมบัติทางเคมีและกระบวนการผลิต..... 16
2.1.5.2 ผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อความดำของงานพิมพ์ 18
2.1.5.3 ผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเวลาของการแห้งตัวสารเคลือบ..... 19
2.1.5.4 การใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเท็กซ์.. 19
2.1.5.5 ความหนืดและการไหล..... 21
2.1.5.6 กำลังการยึดติดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์..... 21
2.1.6 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose;CMC).... 21
2.1.6.1 สมบัติของซีเอ็มซี..... 22
2.1.6.1.1 การละลาย..... 22
2.1.6.1.2 ความหนืด..... 22
2.1.6.1.3 เสถียรภาพ..... 23
2.1.6.1.4 ความสามารถในการเกิดฟิล์ม..... 23
2.1.6.1.5 ความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต..... 23
2.1.7 ผลของสารเคลือบต่อสมบัติของกระดาษเคลือบผิว..... 24
2.1.7.1 สมบัติเชิงแสงของกระดาษเคลือบผิว..... 24
2.1.7.2 สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษเคลือบผิว..... 25
2.1.8 วิธีการเคลือบผิว..... 25
2.1.9 สมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว..... 26
2.1.9.1 ความขาวสว่าง..... 26
2.1.9.2 ความขาว..... 27
2.1.9.3 ความเรียบ..... 27
2.1.10 การพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ต (Ink jet printing)..... 27
2.1.10.1 เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบบับเบิลเจ็ต..... 28
2.1.10.2 เทคโนลียีการพ่นหมึกแบบอิงก์เจ็ต..... 29
2.1.10.3 เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบเปียโซอิเลกทริก..... 29
2.1.11 คุณภาพงานพิมพ์..... 30
2.1.11.1 ความดำของหมึกพิมพ์..... 30

หน้า

2.1.11.2 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์..... 30
2.1.12 แบบทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ (Test target)..... 31
2.1.13 การออกแบบของผสม..... 32
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 37
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 40
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 40
3.1.1 สารเคมี..... 40
3.1.2 อุปกรณ์..... 41
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย..... 42
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมซิลิกาและศึกษาสมบัติของซิลิกา..... 43
3.2.2 การศึกษาสมบัติของดินขาวนิวซีแลนด์และแคลเซียมคาร์บอเนตบด..... 43
3.2.3 คำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้การออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ..... 44
3.3 วิธีการเตรียมสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตและตรวจสอบสมบัติกระดาษเคลือบผิว..... 45
3.4 การตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์..... 45
3.5 การวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารสี..... 46
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 47
4.1 สมบัติของซิลิกา ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบด..... 47
4.1.1 สมบัติของซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ..... 47
4.1.2 สมบัติของดินขาวนิวซีแลนด์..... 48
4.1.3 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตบด..... 49
4.1.4 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของสารสี..... 50
4.2 ผลการเตรียมสารเคลือบ..... 51
4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 53
4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว..... 53
4.3.2 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตและคุณภาพงานพิมพ์..... 57

หน้า

4.3.2.1 น้ำหนักของชั้นสารเคลือบ..... 61
4.3.2.2 ค่าความขาวและความขาวสว่าง..... 64
4.3.2.3 ค่าความดำของสีดำ..... 68
4.3.2.4 ความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 72
4.3.2.5 คุณภาพของเส้นและตัวอักษร..... 74
4.3.2.6 ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สีดำในหมึกพิมพ์สีเหลือง..... 85
4.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์..... 88
4.3.4 ผลการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ..... 89
4.3.5 การทดสอบแบบจำลอง..... 91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 93
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 93
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 95
รายการอ้างอิง..... 96
ภาคผนวก..... 98
ภาคผนวก ก..... 99
ภาคผนวก ข..... 104
ภาคผนวก ค..... 106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 110

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ชนิดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีร้อยละการไฮโดรไลซีสต่างกัน.....	17
ตารางที่ 2.2	ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวที่ใช้สารยึดในสารเคลือบผิวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้ง.....	18
ตารางที่ 2.3	ความดำของหมึกพิมพ์ของสีดำสีเดียว สีดำที่เกิดจากการผสม และสีฟ้าบนกระดาษเคลือบผิวสัดส่วนซิลิกาต่อสารยึด 100:30 โดยใช้ลาเท็กซ์เปรียบเทียบกับการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึด.....	20
ตารางที่ 2.4	สมบัติของซีเอ็มซีสำหรับการประยุกต์ในงานต่าง ๆ.....	23
ตารางที่ 2.5	สัดส่วนของผสมที่มี 3 องค์ประกอบ และการออกแบบของผสมแบบซิมเพลกแลททิส 3 ระดับรวมจุดศูนย์กลาง และจุดกึ่งกลาง.....	35
ตารางที่ 3.1	สัดส่วนของสารสี 3 ชนิดที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ.....	44
ตารางที่ 4.1	สมบัติทางกายภาพของสารสี 3 ชนิด.....	51
ตารางที่ 4.2	ความหนืดของสารเคลือบที่มีซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ ดินขาว นิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดเป็นสารสี.....	52
ตารางที่ 4.3	สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้กับคุณภาพงานพิมพ์ เมื่อเคลือบผิวด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซ.....	58
ตารางที่ 4.4	สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้กับคุณภาพงานพิมพ์ เมื่อเคลือบผิวด้วยขดลวดเคบาร์.....	59
ตารางที่ 4.5	สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าจำนวน 5 ชนิดกับคุณภาพงานพิมพ์	60
ตารางที่ 4.6	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน แสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อน้ำหนักสารเคลือบ.....	63
ตารางที่ 4.7	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน แสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อความขาวสว่าง.....	66
ตารางที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน แสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อความขาว.....	67
ตารางที่ 4.9	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน แสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อค่าความดำของสีดำ.....	71

หน้า

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อความทึบแสง..... 73
ตารางที่ 4.11 คุณภาพของเส้นที่เล็กที่สุดของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้..... 75
ตารางที่ 4.12 คุณภาพของเส้นที่เล็กที่สุดของกระดาษไม่เคลือบผิว และกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ตทางการค้ายี่ห้อ SG..... 78
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน แสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์..... 87
ตารางที่ 4.14 ผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเคลือบผิวด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซกราฟีที่มีน้ำหนักสารเคลือบ 8 กรัมต่อตารางเมตร สัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.00:13.00:4.00 เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์..... 92

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 รูปแบบต่าง ๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานซิลิเกต..... 5

ภาพที่ 2.2 กระบวนการเกิดซิลิกาชนิดตกตะกอน..... 7

ภาพที่ 2.3 รูปร่างของอนุภาคของดินขาวนิวซีแลนด์ ที่กำลังขยาย 10000 เท่า..... 9

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของดินขาวนิวซีแลนด์ ชนิด 1:1..... 9

ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตบด..... 12

ภาพที่ 2.6 กระบวนการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์..... 17

ภาพที่ 2.7 สัดส่วนของซิลิกาที่ใส่สูงสุดก่อนเกิดปัญหาฝุ่นผง..... 18

ภาพที่ 2.8 เวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวเมื่อซิลิกา 0 และ 100 ส่วน..... 19

ภาพที่ 2.9 การเกิดการแพร่กระจายของหมึกพิมพ์สำหรับสารเคลือบที่ใช้สารยึดเป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเท็กซ์..... 20

ภาพที่ 2.10 วิธีการเคลือบผิวกระดาษ (ก) กราวัวร์ (ข) เฟลกโซกราฟี (ค) แท่งขดลวด (ง) ใบมีดเหนือลูกกลิ้ง (จ) ลูกกลิ้งแบบย้อนกลับ..... 26

ภาพที่ 2.11 เทคนิคการพ่นหมึกแบบบับเบิลเจ็ต..... 28

ภาพที่ 2.12 เครื่องพิมพ์แคนนอน i9950..... 28

ภาพที่ 2.13 เทคนิคการพ่นหมึกแบบอิงก์เจ็ต..... 29

ภาพที่ 2.14 เทคนิคการพ่นหมึกแบบเปียโซอิเลกทริก..... 29

ภาพที่ 2.15 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวกับกระดาษไม่เคลือบผิว. 31

ภาพที่ 2.16 QEA test target สำหรับวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์..... 31

ภาพที่ 2.17 ไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต..... 33

ภาพที่ 2.18 การออกแบบซิมเพลกแลททิส สำหรับ 3 องค์ประกอบ 3 ระดับ สเกลจำนวนจุด N ที่ปรากฏบนสามเหลี่ยมคำนวณได้จาก $N = (p+m)!/m!(p+1)!$..... 34

ภาพที่ 2.19 การออกแบบส่วนผสมแบบซิมเพลกแลททิส 3 ระดับ 3 องค์ประกอบรวมจุดศูนย์กลาง และจุดกึ่งกลาง..... 35

ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ..... 47

ภาพที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกาที่กำลังขยาย 5000 เท่า..... 48

ภาพที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินขาวนิวซีแลนด์..... 48

หน้า

ภาพที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของดินขาวนิวซีแลนด์ที่กำลังขยาย 20000 เท่า..... 49

ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบด..... 49

ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนตบด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า..... 50

ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งของสูตรที่ได้จากการออกแบบจากโปรแกรมมินิแทบ..... 52

ภาพที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสารสีซิลิกาเพียงชนิดเดียวเท่ากับ 100:00:00 สูตรที่ 1 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.9..... 53

ภาพที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:16.67:00 สูตรที่ 2 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.9..... 54

ภาพที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:33.33:00 สูตรที่ 4 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.8..... 54

ภาพที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:50:0 สูตรที่ 7 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.9 54

ภาพที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:0:16.67 สูตรที่ 3 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 2.0..... 55

ภาพที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:0:33.33 สูตรที่ 6 กำลังขยาย 5000 เท่ามีความมันวาว 2.0..... 55

ภาพที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:0:50 สูตรที่ 10 กำลังขยาย 5000 เท่ามีความมันวาว 1.9..... 55

ภาพที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:33.33:16.67 สูตรที่ 8 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.8..... 56

หน้า

ภาพที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:16.67:33.33 สูตรที่ 9 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.9..... 56

ภาพที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:33.33:8.33 สูตรที่ 12 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.7..... 56

ภาพที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:8.33:33.33 สูตรที่ 13 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.8..... 56

ภาพที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:16.67:16.67 สูตรที่ 5 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.9..... 57

ภาพที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:8.33:8.33 สูตรที่ 11 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว 1.8..... 57

ภาพที่ 4.21 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อน้ำหนักสารเคลือบผิวกระดาษอิงก์เจ็ต..... 61

ภาพที่ 4.22 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับน้ำหนักสารเคลือบผิวกระดาษอิงก์เจ็ต..... 61

ภาพที่ 4.23 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความขาวสว่างบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 64

ภาพที่ 4.24 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับความขาวสว่างบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 64

ภาพที่ 4.25 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความขาวบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 65

ภาพที่ 4.26 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับความขาวบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 65

หน้า

ภาพที่ 4.27 ความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 68

ภาพที่ 4.28 ความขาวของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 68

ภาพที่ 4.29 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 69

ภาพที่ 4.30 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับความดำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 69

ภาพที่ 4.31 ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำเมื่อเคลือบผิวด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซกราฟีและขดลวดเคลือบผิวเคบาร์..... 70

ภาพที่ 4.32 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 72

ภาพที่ 4.33 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 72

ภาพที่ 4.34 ค่าความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 74

ภาพที่ 4.35 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษฐานน้ำหนัก 80 แกรม..... 79

ภาพที่ 4.36 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวทางการค้า ยี่ห้อ SG..... 79

ภาพที่ 4.37 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 100:0:0 สูตรที่ 1..... 79

ภาพที่ 4.38 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:16.67:0 สูตรที่ 2.. 80

ภาพที่ 4.39 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:0:16.67 สูตรที่ 3.. 80

ภาพที่ 4.40 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:33.33:0 สูตรที่ 4.. 80

ภาพที่ 4.41 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:16.67:16.67 สูตรที่ 5.... 81

ภาพที่ 4.42 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:00:33.33 สูตรที่ 6..... 81

หน้า

ภาพที่ 4.43 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:50:00 สูตรที่ 7..... 81
ภาพที่ 4.44 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:33.33:16.67 สูตรที่ 8..... 82
ภาพที่ 4.45 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:16.67:33.33 สูตรที่ 9..... 82
ภาพที่ 4.46 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50:00:50 สูตรที่ 10..... 82
ภาพที่ 4.47 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:8.33:8.33 สูตรที่ 11..... 83
ภาพที่ 4.48 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:33.33:8.33 สูตรที่ 12.... 83
ภาพที่ 4.49 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:8.33:33.33 สูตรที่ 13.... 83
ภาพที่ 4.50 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:8.33:8.33 สูตรที่ 14.... 84
ภาพที่ 4.51 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:33.33:8.33 สูตรที่ 15... 84
ภาพที่ 4.52 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาว นิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:8.33:33.33 สูตรที่ 16.... 84
ภาพที่ 4.53 ความกว้างของเส้นสีดำบนพื้นสีเหลือง ของกระดาษไม่เคลือบผิว..... 85
ภาพที่ 4.54 ความกว้างของเส้นสีดำบนพื้นสีเหลือง ของกระดาษเคลือบผิวทางการค้า (ยี่ห้อ SG)..... 85
ภาพที่ 4.55 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 86
ภาพที่ 4.56 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต..... 86

หน้า

ภาพที่ 4.57 ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์..... 88
ภาพที่ 4.58 การเลือกสมบัติของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ตในช่วงที่ยอมรับได้..... 90
ภาพที่ 4.59 กราฟไตรลิเนียร์ที่แสดงสมบัติต่าง ๆ ของสารเคลือบที่เหมาะสมที่สุด..... 91