

การเตรียมหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตโดยใช้โซลเป็นผู้นำ



นายภูภูมิ จุฬาวรรณนะ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

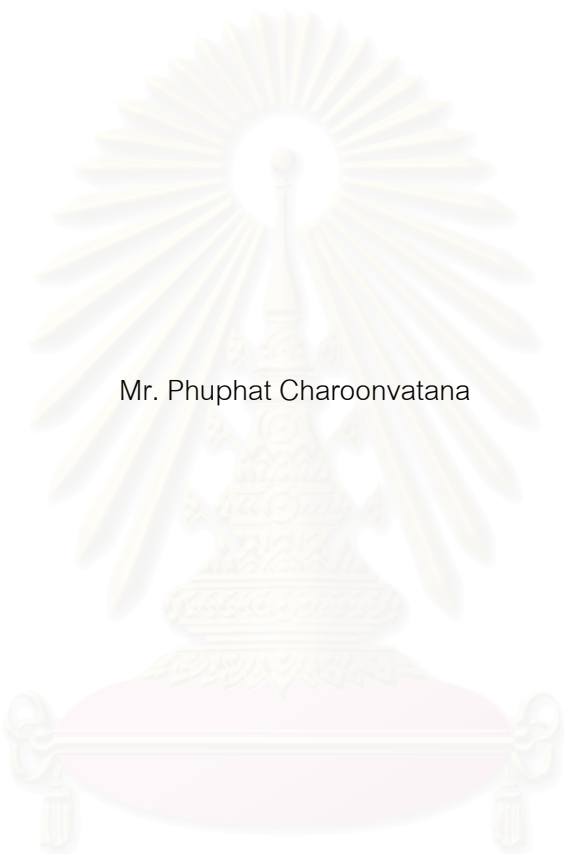
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4247-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE PREPARATION OF INK-JET INK CONTAINING SOL AS A VEHICLE



Mr. Phuphat Charoonvatana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Imaging technology

Department of Imaging and Printing technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4247-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทโดยมีโซลเป็นสื่อ
โดย	นายภูภูมิ จรุงวรธนะ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุพิณ ต่างวิวัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. สุพิณ ต่างวิวัฒน์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์)

ภัญญู จรูญวรรณนะ : การเตรียมหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทโดยใช้โซลเป็นสื่อนำ (THE PREPARATION OF INK-JET INK CONTAINING SOL AS A VEHICLE) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สุพิณ ต่างวิวัฒน์ จำนวนหน้า 71 หน้า ISBN 974-17-4247-9

งานวิจัยนี้นำโซลที่สังเคราะห์จาก TEOS (Tetraethoxysilane, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) มาใช้ผลิตหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทฐานน้ำ พบว่าหมึกที่สามารถพิมพ์ได้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเฮปสันรุ่น C-60 ได้แก่ หมึกพิมพ์ที่ใช้โซลที่มีอัตราส่วนโดยโมล $\text{TEOS}:\text{H}_2\text{O}:\text{HCl} = 1:12.38:0.01$ ในปริมาณ 10% และ 15% โดยไม่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบ มีค่าแรงตึงผิว 50.90 mN/m และ 53.50 mN/m ตามลำดับ และความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าอยู่ในช่วง 2.10 ถึง 2.70 mPa s และเพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณโซลในหมึกพิมพ์ที่มีผลต่อการทนทานต่อแสง การทนทานต่อการขีดข่วน และการทนทานต่อน้ำ จึงได้เตรียมหมึกพิมพ์ที่มีโซลในปริมาณ 10% ถึง 70% เพื่อเคลือบผิวลงบนวัสดุพิมพ์ที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว จากผลการทดสอบการทนทานต่อแสงพบว่า ปริมาณโซลในสูตรหมึก ไม่ส่งผลต่อการทนทานต่อแสง สำหรับการทนทานต่อการขีดข่วนของสิ่งพิมพ์สามารถทดสอบความแข็งของชั้นฟิล์มด้วยดินสอ พบว่าความแข็งของชั้นฟิล์มให้ผลแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุพิมพ์ หมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบโดยโซลที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการทนทานต่อการขีดข่วนบนวัสดุประเภทกระดาษ แต่มีผลบนวัสดุประเภทแก้วคือปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นทำให้ชั้นฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น สำหรับการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์พบว่าปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นในสูตรหมึกพิมพ์ มีผลทำให้สิ่งพิมพ์ชนิดกระดาษที่ไม่เคลือบผิวและแผ่นพลาสติกที่เคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ททนทานต่อน้ำมากขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์บนกระดาษเคลือบผิว

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์	ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4472366023 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: INK-JET INK / SOL-GEL / TEOS / LIGHTFASTNESS / WATERFASTNESS

PHUPHAT CHAROONVATANA : THE PREPARATION OF INK-JET INK
CONTAINING SOL AS A VEHICLE. THESIS ADVISOR : PICHAYADA
KATEMAKE, Ph.D., THESIS COADVISOR : SUPIN TANGWIWAT, Ph.D., 71 pp.
ISBN 974-17-4247-9.

Novel inkjet ink for piezoelectric technology was prepared by a sol-gel process using alkoxide solutions containing Tetraethoxysilane, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ (TEOS). The appropriate mole ratio of TEOS:H₂O:HCl was 1:12.38:0.01. The amounts of sol contained in the ink formulation were 10% and 15% without surfactants. The physical properties of the ink: viscosity, surface tension and pH were adjusted to agree with the Epson stylus C-60 printer. The proper viscosity was in the range of 2.10 to 2.70 mPa s and the surface tension was 50.90 mN/m and 53.50 mN/m for 10%sol and 15% sol, respectively. The surface properties of the inkjet film applied on the coated inkjet substrate and recycled paper using an inkjet printer and rod coating (K-bar) methods were investigated. It was found that the lightfasness of ink film and the hardness of film on paper were independent of the increase of sol. However, the hardness of ink film on the glass sheet increased with the rise of sol. The increment of sol showed an excellent result on waterfastness especially on recycled paper.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Imaging and Printing technology Student's signature.....

Field of study Imaging technology Advisor's signature.....

Academic year 2003 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ อาจารย์ที่ปรึกษา และดร.สุพิน ต่างวิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่เปิดโอกาส ให้ความรู้ แนวทางที่เป็นประโยชน์ และคำปรึกษาอย่างมากมายที่เกี่ยวกับการศึกษาการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงคำแนะนำและข้อคิดดีๆที่หาไม่ได้จากตำราใดๆ

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติ กัจจรวงศ์ ประธานกรรมการ และ รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์ กรรมการ ที่ให้ความกรุณาแนะนำและแก้ไขจุดบกพร่องการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เปิดโอกาสการศึกษาในระดับปริญญาของข้าพเจ้า รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ และเพื่อนๆพี่ๆที่ให้กำลังใจและแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาในบางส่วนของกาวิจัยในครั้งนี้

และสุดท้าย ขอขอบคุณพ่อ แม่ และพี่ชาย ที่เป็นกำลังใจและทำให้เกิดแรงผลักดันในการทำกาวิจัยในครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	3
2.1.1 โซลเจล (Sol-gel).....	3
2.1.1.1 กระบวนการโซลเจล (Sol-Gel processing).....	3
2.1.1.2 ไฮโดรไลซิสและคอนเดนเซชันของซิลิคอนอัลคอกไซด์.....	3
2.1.1.3 เวลาในการเกิดเจล (gelation time).....	5
2.1.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการเกิดเจล.....	6

2.1.1.4.1 อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Temperature).....	6
2.1.1.4.2 สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา (ระบบปิดหรือระบบเปิด).....	6
2.1.1.4.3 สารตั้งต้นประเภทซิลิคอนอัลคอกไซด์.....	7
2.1.1.4.4 ผลกระทบของความเป็นกรดเป็นด่าง.....	7
2.1.2 การพิมพ์แบบพ่นหมึก (Ink jet printing).....	7
2.1.2.1 เทคโนโลยีการพิมพ์ตามคำสั่งอิงค์เจ็ตแบบเพียโซ (Drop-on-demand Piezo ink jet technology).....	8
2.1.2.3 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ต.....	9
2.1.2.4 สมบัติทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตฐานน้ำ.....	11
2.1.2.4.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์และแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์.....	11
2.1.2.4.2 ขนาดของอนุภาค (Particle size).....	12
2.1.3 ปริภูมิสีระบบ L*a*b*.....	12
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	18
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	18
3.1.1 สารเคมี.....	18
3.1.2 อุปกรณ์.....	19
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	20
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมโซลและการทดสอบสมบัติของโซล.....	21

3.2.1.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์โพลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography).....	21
3.2.1.2	ขั้นตอนการเตรียมโพล.....	21
3.2.1.3	การทดสอบสมบัติของโพล.....	22
3.2.2	ขั้นตอนการเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีโพลเป็นส่วนประกอบ.....	23
3.2.2.1	การทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า ระบบเปียกที่ใช้ในปัจจุบัน.....	24
3.2.2.2	การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเบื้องต้น เพื่อทดสอบการ ทนทานต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์ม.....	24
3.2.2.3	การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีโพลเป็นส่วนประกอบเพื่อ เตรียมบรรจุลงตลับหมึก.....	25
3.2.2.4	การพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีโพลเป็นส่วนประกอบ.....	27
3.2.2.5	การทดสอบสมบัติของสิ่งพิมพ์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณ โพลที่มีต่อสิ่งพิมพ์.....	28
3.2.2.5.1	การทดสอบการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์.....	30
3.2.2.5.2	การทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนของสิ่งพิมพ์.....	31
3.2.2.5.3	การทดสอบการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์.....	31

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 การเตรียมโพลีเมอร์และการทดสอบสมบัติของโพลีเมอร์.....	33
4.1.1 การวิเคราะห์โพลีเมอร์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)....	33
4.1.2 การทดสอบสมบัติของโพลีเมอร์และวิเคราะห์เพื่อหาโพลีเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับ หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท.....	34
4.2 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบ.....	36
4.2.1 การทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าระบบเปียก ที่ใช้ในปัจจุบัน.....	36
4.2.2 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเบื้องต้น เพื่อทดสอบการทนทานต่อน้ำ และความแข็งของชั้นฟิล์ม.....	37
4.2.3 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุ ลงตลับหมึก.....	41
4.2.4 การพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบ.....	45
4.2.5 การทดสอบสมบัติของสิ่งพิมพ์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณโพลีเมอร์ ที่มีต่อสิ่งพิมพ์.....	49
4.2.5.1 การทดสอบการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์.....	52
4.2.5.2 การทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนของสิ่งพิมพ์.....	59
4.2.5.3 การทดสอบการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์.....	60

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
รายการอ้างอิง.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	71



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

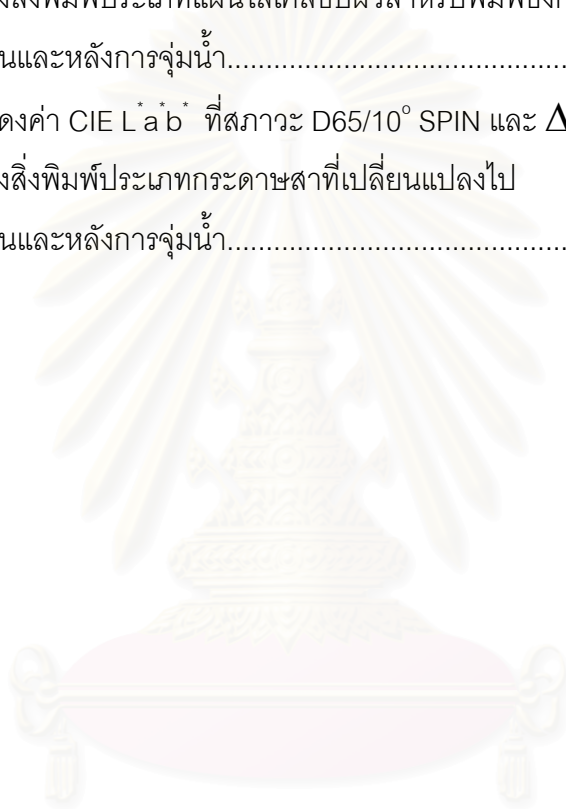
สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	แสดงองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทฐานน้ำทั่วไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต.....	11
ตารางที่ 3.1	แสดงองค์ประกอบของโซลเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ชุดที่ 1 ถึง ชุดที่ 5)....	22
ตารางที่ 3.2	สูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าสำหรับเครื่องพิมพ์ที่ใช้ระบบผลึกหมึกด้วยความร้อน.....	23
ตารางที่ 3.3	สูตรหมึกทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท.....	23
ตารางที่ 3.4	การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเบื้องต้น เพื่อทดสอบการทนทานต่อน้ำและความต้านทานต่อการขีดข่วน.....	25
ตารางที่ 3.5	แสดงสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีโซลเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก.....	26
ตารางที่ 3.6	แสดงสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่มีสีย้อมเป็นองค์ประกอบ 3% และ 4%.....	27
ตารางที่ 3.7	แสดงสูตรหมึกในขั้นตอนการพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ.....	28
ตารางที่ 3.8	แสดงสูตรหมึกสำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณโซลที่มีต่อสิ่งพิมพ์.....	29
ตารางที่ 4.1	แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณเจลแห้ง ของโซลชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 5.....	34
ตารางที่ 4.2	แสดงความหนืดของโซลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 ที่อัตราเฉือนตั้งแต่ 66.0 ถึง 330.0 s ⁻¹ ที่อุณหภูมิ 25 ± 0.1 °C.....	35
ตารางที่ 4.3	ความหนืดของหมึกพิมพ์ชนิดเดิมที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันของบริษัท Inkman ที่อัตราเฉือนตั้งแต่ 66.0 ถึง 330.0 s ⁻¹ ที่อุณหภูมิ 25 ± 0.1 °C...	36
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันของบริษัท Inkman.....	37
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการทดสอบการแห้งตัว การทนทานต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่เคลือบบนกระดาษเคลือบด้วยขดลวด K-bar.....	38
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการทดสอบการทนทานต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์มที่พ่นด้วยแอร์บรัชลงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ.....	39
ตารางที่ 4.7	ความหนืดของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีโซลเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก.....	42

ตารางที่ 4.8	แสดงผลของการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนแผ่นใสไม่เคลือบผิว และกระจกใสด์ที่มีการแห้งตัวตามธรรมชาติ.....	43
ตารางที่ 4.9	แสดงความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรต่างๆที่มีไซลเป็นส่วนประกอบที่เตรียม สำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต.....	45
ตารางที่ 4.10	แสดงค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์ที่มีไซลเป็นส่วนประกอบที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต.....	46
ตารางที่ 4.11	แสดงการพิมพ์ได้ของสูตรหมึกพิมพ์ที่มีไซลเป็นส่วนประกอบที่เลือก ใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันรุ่น C-60.....	47
ตารางที่ 4.12	แสดงความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีปริมาณไซลตั้งแต่ 0-70% สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ.....	49
ตารางที่ 4.13	แสดงค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มี ปริมาณไซลตั้งแต่ 0-70% สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ.....	52
ตารางที่ 4.14	แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของ สิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง.....	56
ตารางที่ 4.15	แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของ สิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 40 ชั่วโมง.....	56
ตารางที่ 4.16	แสดงค่าความดำของสิ่งพิมพ์และเปอร์เซ็นต์ความดำที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง.....	58
ตารางที่ 4.17	แสดงผลการทดสอบการทนทานต่อการขีดข่วนด้วยดินสอของ สิ่งพิมพ์ชนิดต่างๆ.....	59
ตารางที่ 4.18	แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสี ของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ.....	61
ตารางที่ 4.19	แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสี ของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษเคลือบผิวชนิดด้านที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ.....	61

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสี ของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษรีไซเคิลที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ.....	62
ตารางที่ 4.21 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสี ของสิ่งพิมพ์ประเภทแผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ.....	62
ตารางที่ 4.22 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสี ของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษสาที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ.....	63



สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เฟสไดอะแกรมแสดงความสามารถในการเข้ากันของ TEOS น้ำ และเอทาanol 95%.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงเทคโนโลยีการพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้ในปัจจุบัน.....	8
รูปที่ 2.3 แสดงเทคโนโลยีการพิมพ์อิงก์เจ็ตคำสั่งอิงก์เจ็ตแบบพิเศษ.....	9
รูปที่ 2.4 แสดงประเภทของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้ในปัจจุบัน.....	10
รูปที่ 2.5 แสดงปริภูมิสีระบบ L*a*b* หรือ CIELAB.....	13
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของสี ΔE^*_{ab} ตามปริภูมิสีระบบ L*a*b*.....	14
รูปที่ 3.1 แสดงการเตรียมโซลด้วย TEOS ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	21
รูปที่ 3.2 แสดงความแข็งของดินสอที่ใช้ทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนตามเบอร์.....	31
รูปที่ 4.1 โคโรมาโตแกรมของ (a) TEOS (b) โคโรมาโตแกรมของโซล (TEOS : HCl pH2 = 2:2 ml) เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชม. (c) โคโรมาโตแกรมของโซล (TEOS : HCl pH2 = 2:2 ml) เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชม.	33
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความหนืดของโซลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 ที่อัตราเฉือนตั้งแต่ 66.0 ถึง 330.0 s ⁻¹ ที่อุณหภูมิ 25 ± 0.1 °C.....	35
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความหนืดของหมึกพิมพ์ชนิดเดิมที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต เอปสันของบริษัท Inkman.....	37
รูปที่ 4.4 ภาพตัดขวางกำลังขยาย 50 เท่าของกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว ที่แสดงการซึมของหมึกสูตรที่ 1 หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้า (1 สเกล = 0.0038 มิลลิเมตร).....	40
รูปที่ 4.5 ภาพตัดขวางกำลังขยาย 50 เท่าของกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว ที่แสดงการซึมของหมึกสูตรที่ 4 โซลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้โซล ที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H ₂ O:HCl = 1: 2.48 : 0.01 (1 สเกล = 0.0038 มิลลิเมตร).....	40

รูปที่ 4.6 ภาพตัดขวางกำลังขยาย 50 เท่าของกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว ที่แสดงการซึมของหมึกสูตรที่ 5 โซลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้โซล ที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H ₂ O:HCl = 1: 12.38 : 0.01 (1 สเกล = 0.0038 มิลลิเมตร).....	41
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ เพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึกสูตรต่างๆ.....	42
รูปที่ 4.8 กราฟการส่องผ่านของแสงของหมึกพิมพ์ในช่วงความยาวคลื่น 380-780 นาโนเมตร.....	44
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 11 ถึง 18 ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ ที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต.....	46
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีปริมาณโซลตั้งแต่ 0-70% สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ.....	51
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 1 (โซล 0%).....	53
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 2 (โซล 10%).....	53
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 3 (โซล 20%).....	53
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 4 (โซล 30%).....	53
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 5 (โซล 40%).....	54
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 6 (โซล 50%).....	54
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 7 (โซล 60%).....	54

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 8 (ไซล 70%).....	54
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์สูตรที่ 16 (ไซล 10%).....	54
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์สูตรที่ 17 (ไซล 15%).....	54
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้า.....	55
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า ΔE_{ab}^* ของสีของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลัง การฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง.....	57
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความดำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมงและ 40 ชั่วโมง.....	58
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า ΔE_{ab}^* ของสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจุ่มน้ำของสิ่งพิมพ์ประเภท กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว กระดาษเคลือบผิวชนิดด้าน กระดาษรีไซเคิล แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ต และกระดาษสา.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การพิมพ์อิงค์เจ็ทถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้เทคโนโลยีการพิมพ์ระบบนี้มีอัตราการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีการวิจัยพัฒนาอย่างมากมายทั่วโลก เนื่องจากการพิมพ์ระบบนี้เป็นการพิมพ์โดยตรงด้วยระบบดิจิทัล เหมาะสำหรับผลิตงานจำนวนน้อย และงานที่ได้มีคุณภาพสูง เทียบตรง และแม่นยำ ด้วยเหตุนี้เอง การพิมพ์ระบบนี้จึงได้รับความสนใจประยุกต์ใช้ในงานเซรามิก ไม่ว่าจะเป็นการตกแต่งเซรามิกเพื่อความสวยงาม หรือการขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิกขนาดเล็ก

ในการวิจัยนี้นำกระบวนการโซลเจลทางเซรามิก โดยใช้โซลที่สังเคราะห์จาก ซิลิคอนเตตระเอทอกไซด์ (Silicon Tetraethoxide, TEOS) ซึ่งเป็นสารประกอบตั้งต้น (precursor) ที่สามารถกระจายตัวในน้ำได้และสามารถผสมกับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทฐานน้ำที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สมบัติที่น่าสนใจของ โซล คือ เมื่อแห้งตัวจะมีลักษณะแข็งติดกับสิ่งพิมพ์ได้ การนำ โซล ที่สังเคราะห์จาก TEOS มาเป็นส่วนประกอบหนึ่งของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเป็นอีกแนวทางหนึ่ง และคาดว่าจะสามารถปรับปรุงความทนทานต่อน้ำ ความทนทานต่อแสง และความทนทานต่อการขีดข่วนให้แก่สิ่งพิมพ์ วิธีการทำวิจัยนี้มี 2 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกเป็นการสังเคราะห์โซลจาก TEOS ที่ละลายน้ำโดยมี HCl เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วทดสอบสมบัติความเป็นกรด-เบส และความหนืด เพื่อหาโซลที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท ขั้นที่สองเป็นการผสมโซลลงในสูตรหมึกพิมพ์โดยทำการแทนปริมาณของน้ำด้วยโซลในสัดส่วนต่างๆในสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่พิมพ์ด้วยระบบเปียก และศึกษาผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ โซล ได้แก่ ความทนทานต่อน้ำ ความทนทานต่อแสง และความทนทานต่อการขีดข่วนของสิ่งพิมพ์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ผลิตหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทฐานน้ำโดยใช้ซิลที่สังเคราะห์ด้วย TEOS (Tetraethoxysilane, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) เป็นสิ่งนำ
2. ศึกษาผลกระทบหมึกพิมพ์ที่มีซิลเป็นส่วนประกอบได้แก่ สมบัติความทนทานต่อน้ำ ความทนทานต่อแสง และความทนทานต่อการขีดข่วนของสิ่งพิมพ์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หมึกพิมพ์สำหรับพิมพ์ภาพที่มีสมบัติของความทนทานต่อน้ำ ความทนทานต่อแสง และความทนทานต่อการขีดข่วนที่ดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 โซลเจล (Sol-gel)

2.1.1.1 กระบวนการโซลเจล (Sol-Gel processing)¹

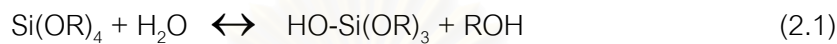
กระบวนการ โซลเจล เป็นกระบวนการเตรียมสารประกอบตั้งต้น (precursor) ได้แก่สารแขวนลอยที่ประกอบไปด้วยธาตุประเภทโลหะที่ถูกล้อมรอบด้วยลิแกนด์ต่างๆ และคำว่า “โซล (sol)” คือการแขวนลอยของกลุ่มอนุภาคที่เป็นของแข็ง (ขนาดประมาณ 1-1000 นาโนเมตร) ภายในสารที่เป็นของเหลว โดยกลุ่มของสารประกอบประเภทอัลคอกไซด์ (alkoxide) (สารประกอบที่มีลิแกนด์เป็นหมู่อัลคอกซี (alkoxy) ที่มีสูตรโมเลกุล “ $\cdot\text{OC}_n\text{H}_{2n+1}$ ”) ถูกนำมาใช้เป็น precursor ในงานวิจัยทางโซลเจล อย่างกว้างขวางมากที่สุด ส่วนคำว่า “เจล (gel)” คือสารที่มีโครงสร้างของแข็งอย่างต่อเนื่องห่อหุ้มล้อมโครงสร้างของเหลวอย่างต่อเนื่อง ความต่อเนื่องของโครงสร้างของแข็งดังกล่าวนี้ทำให้สารมีลักษณะยึดหยุ่น โดยเจลเกิดจากการขยายตัวของโมเลกุลโดยตลอดในสารละลาย โมเลกุลที่ขยายขึ้นนี้ประกอบไปด้วยโมโนเมอร์ (monomer) ที่สามารถสร้างพันธะได้มากกว่า 2 พันธะ ทำให้โมเลกุลสามารถสร้างพันธะได้เพิ่มขนาดอย่างไม่จำกัด กระบวนการ โซลเจล ดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยาหลักได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน (condensation) ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 2.1.1.2

2.1.1.2 ไฮโดรไลซิสและคอนเดนเซชันของซิลิคอนอัลคอกไซด์¹

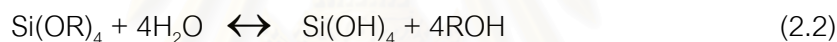
ในการสังเคราะห์เจลซิลิเกต (silicate) ส่วนใหญ่ เกิดจากการไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) โมโนเมอร์ ได้แก่ สารประกอบตั้งต้นของสารประกอบอัลคอกไซด์ที่มี 4 หมู่ฟังก์ชันที่ใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารประกอบตั้งต้นที่นิยมมากที่สุดคือ ซิลิคอนเตตระเอทอไซด์ (Silicon Tetraethoxide หรือ Tetraethoxysilane หรือ Tetraethyl Orthosilicate, TEOS) ที่มีสูตรโมเลกุล $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ TEOS เป็นสารประกอบอัลคอกไซด์โลหะ (Metal alkoxide) ซึ่งจัดอยู่ใน

กลุ่มสารประกอบประเภทเมทัลลอแกนิก (metalloorganic) (สารประกอบที่มีลิแกนด์จำพวกสารอินทรีย์ที่จับกับอะตอมของโลหะ) นอกจากนี้ TEOS ยังเป็นสารประกอบเมทัลลอคอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ง่าย

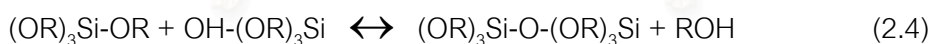
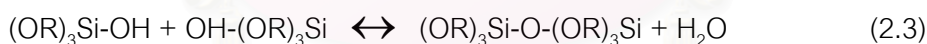
สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น 2 ปฏิกิริยาในกระบวนการโซลเจล ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน (condensation) สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



เมื่อสมการที่ 2.1 คือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส R แทนลิแกนด์ใดๆ เมื่อ R คือ หมู่อัลคิล (alkyl, $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$) ดังนั้น $\cdot\text{OR}$ คือกลุ่มของอัลคอกซี (alkoxy) และ ROH คือ แอลกอฮอล์ ปฏิกิริยานี้สามารถเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อกลุ่ม OR ทั้งหมดถูกแทนที่ด้วย OH ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ ดังสมการ



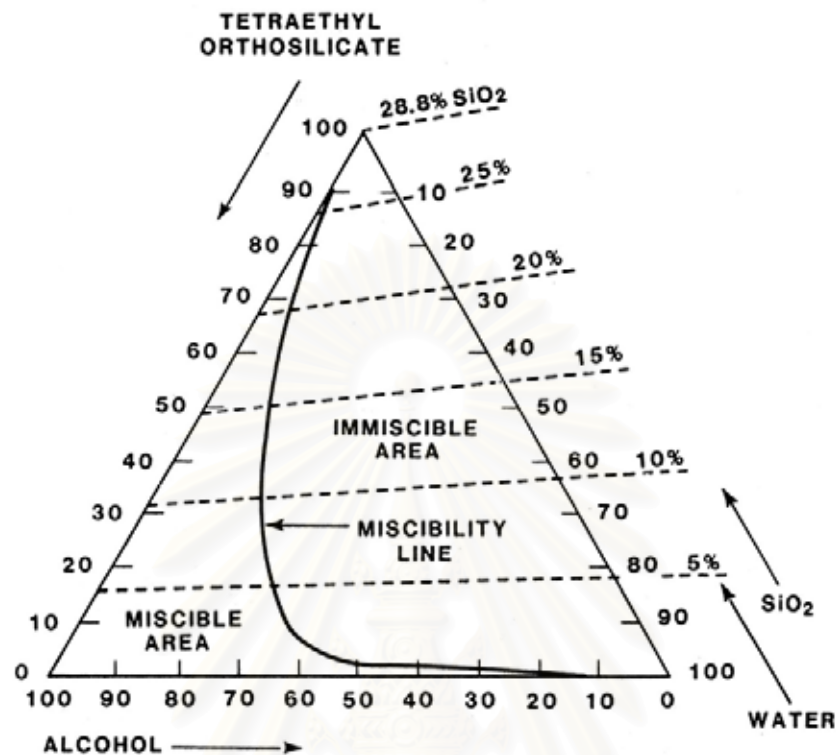
หรือปฏิกิริยาหยุดเมื่อโลหะถูกไฮโดรไลส์ได้บางส่วนเท่านั้น $\text{Si}(\text{OR})_{4-n}(\text{OH})_n$ โมเลกุลของสารที่ถูกไฮโดรไลส์ได้บางส่วน 2 โมเลกุล สามารถเชื่อมต่อกันได้ในปฏิกิริยาคอนเดนเซชันได้แก่



ผลของปฏิกิริยาคอนเดนเซชันจากสมการที่ 2.3 และ 2.4 ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้แก่ น้ำ หรือ แอลกอฮอล์ โดยปฏิกิริยานี้สามารถสร้างโมเลกุลของสารประกอบซิลิคอน ให้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) หากโมเลกุลขยายขึ้นโดยตลอดในสารละลายแล้ว สารนี้สามารถเรียกได้ว่าเป็น “ เจล ”

ตามปกติแล้ว ปฏิกิริยาคอนเดนเซชันจะเริ่มต้นก่อนที่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากน้ำและสารประกอบอัลคอกซีไซเลน (alkoxysilane) ไม่สามารถเข้ากันได้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 แต่สามารถใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายที่ทำให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน อย่างไรก็ตามเจลสามารถเตรียมได้จากซิลิคอนอัลคอกไซด์และน้ำโดยปราศจากการเติม

ตัวทำละลาย โดยแอลกอฮอล์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีปริมาณเพียงพอต่อการเข้ากันของสารในระบบ



รูปที่ 2.1 เฟสไดอะแกรมแสดงความสามารถในการเข้ากันของ TEOS น้ำ และเอทานอล 95%

2.1.1.3 เวลาในการเกิดเจล (gelation time)²

เวลาในการเกิดเจลเป็นปัจจัยสำคัญที่ถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการโซลเจล ปฏิกิริยาการเกิดเจล (Gelation) เกิดจากอนุภาคภายในโซล เชื่อมต่อเป็นโครงสร้างแบบร่างแห แผ่กว้างทั่วทั้งปริมาตรของโซลที่เกิดเจล ปฏิกิริยาการเกิดเจลนี้สามารถสังเกตเห็นโซลที่เป็นของเหลวเปลี่ยนแปลงเป็นของแข็ง โดยทั่วไป จุดของการเกิดเจล (gelation point) พิจารณาจากจุดที่โซลไม่สามารถไหลได้ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกในขณะที่เฉื่อยภาชนะที่บรรจุโซล หรือพิจารณาการไหลที่จุดของอัตราการเฉือน (Shear rate) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

2.1.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการเกิดเจล

2.1.1.4.1 อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Temperature)

เวลาการเกิดเจลจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius)

$$1/t_g = A \exp(-E^*/RT) \quad (2.5)$$

เมื่อ t_g คือ เวลาการเกิดเจล (gelation time)

A คือ ค่าคงที่ใดๆ

E^* คือ พลังงานกระตุ้นของอาร์เรเนียส (Arrhenius activation energy)

R คือ ค่าคงที่แก๊สในอุดมคติ (Ideal Gas constant)

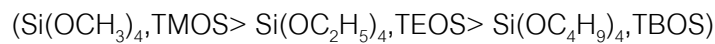
T คือ อุณหภูมิเคลวิน (Kelvin temperature)

2.1.1.4.2 สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา (ระบบปิดหรือระบบเปิด)

เวลาการเกิดเจลของซิลิโคนอัลคอกไซด์ในระบบเปิดจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการเกิดปฏิกิริยาในระบบปิด โดยสาเหตุมาจากการระเหยของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา ได้แก่ น้ำและแอลกอฮอล์ ซึ่งสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยา ความชื้นในอากาศที่สนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และการระเหยของตัวทำละลายมีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคออกไซด์ซึ่งสนับสนุนการเกิดเจล

2.1.1.4.3 สารตั้งต้นประเภทซิลิคอนอัลคอกไซด์

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสลดลงเมื่อขนาดของอัลคอกไซด์เพิ่มขึ้น



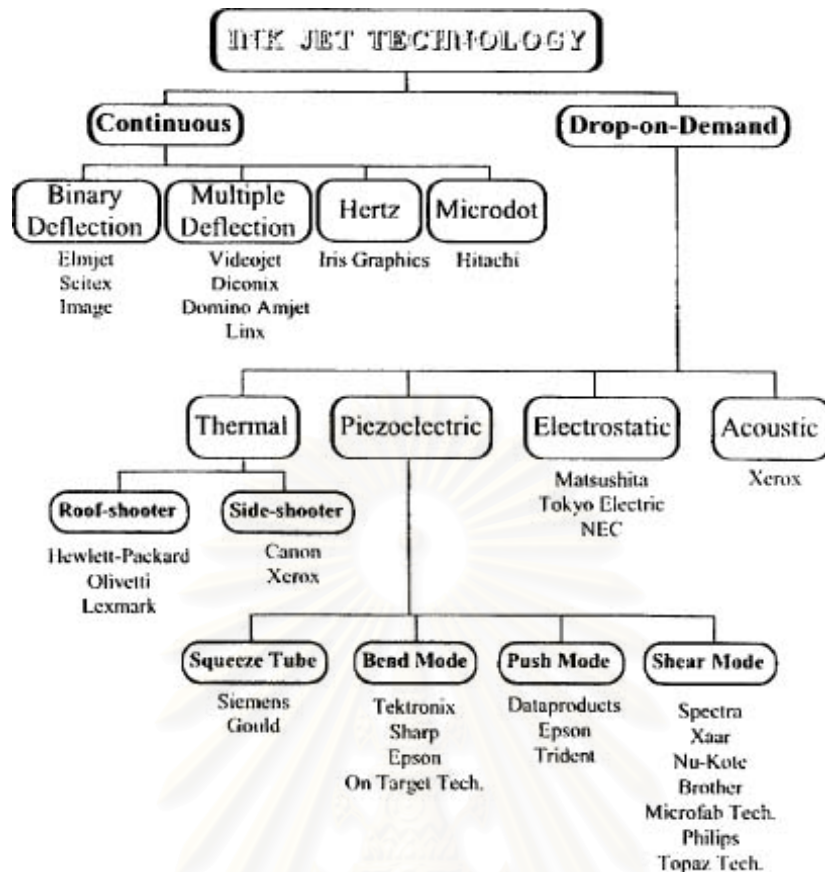
ในการเกิดเจลประกอบด้วยทั้งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน แต่เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นเร็วกว่ามาก เวลาการเกิดเจลจึงสามารถพิจารณาจากเวลาของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ โดยเวลาการเกิดเจลจะแตกต่างกันไปตามชนิดของอัลคอกไซด์ภายใต้การควบคุมเงื่อนไขเดียวกันในการเตรียมสาร ซึ่งเวลาการเกิดเจลจะมีระยเวลานานเมื่อสารประกอบอัลคอกไซด์มีความเข้มข้นต่ำ

2.1.1.4.4 ผลกระทบของความเป็นกรดเป็นด่าง

pH ของสารละลายมีผลต่อเวลาการเกิดเจล (t_g) โดยมีความสัมพันธ์ $t_g(\text{acid}) > t_g(\text{neutral}) > t_g(\text{base})$ นอกจากนี้เวลาการเกิดเจลยังขึ้นอยู่กับกลไกของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย

2.1.2 การพิมพ์แบบพ่นหมึก (Ink-jet printing)

การพิมพ์แบบพ่นหมึกเป็นการพิมพ์แบบไร้สัมผัส ในการพิมพ์ระบบนี้เป็นการสร้างหยดหมึกที่ถูกผลักผ่านรูขนาดเล็กที่บริเวณหัวพิมพ์ และหยดลงบนสิ่งพิมพ์เพื่อทำให้เกิดภาพ เทคโนโลยีการพิมพ์ระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่ การพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบต่อเนื่อง (continuous ink jet printing) และการพิมพ์อิงค์เจ็ทตามคำสั่ง (drop-on-demand ink jet printing) ดังรูปที่ 2.2

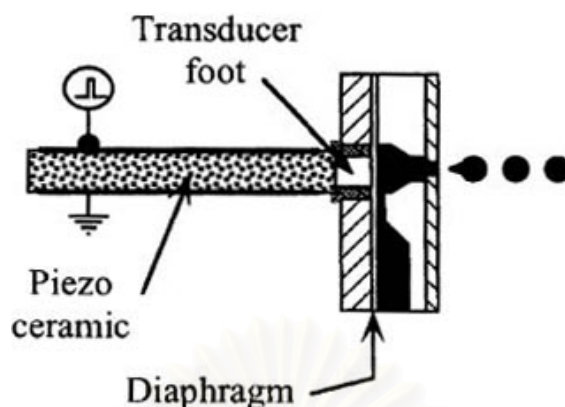


รูปที่ 2.2 แสดงเทคโนโลยีการพิมพ์อิงค์เจ็ทที่ใช้ในปัจจุบัน³

ในการวิจัยนี้ นำการพิมพ์อิงค์เจ็ทตามคำสั่งที่ใช้การผลึกหมึกด้วยเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) จึงขอกล่าวถึงเทคโนโลยีการพิมพ์ระบบนี้เท่านั้น

2.1.2.1 เทคโนโลยีการพิมพ์ตามคำสั่งอิงค์เจ็ทแบบเพียโซ (Drop-on-demand Piezo ink jet technology)

เทคโนโลยีการพิมพ์ระบบนี้ ใช้ทรานสดิวเซอร์ (transducer) ของสารเพียโซอิเล็กทริกในการผลึกหมึก โดยทรานสดิวเซอร์นี้จะมีการเพิ่มและลดขนาดด้วยสัญญาณไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดแรงดันและผลึกหมึกออกจากหัวพิมพ์ได้ ดังรูปที่ 2.3 โดยหยดหมึกของระบบพิมพ์ตามคำสั่งที่ผลึกออกมาถูกสร้างเมื่อต้องการจุดให้เกิดบนภาพเท่านั้น โดยไม่มีการบังคับการเลี้ยวเบนของหยดหมึกที่เกิดขึ้นเหมือนในระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบต่อเนื่อง ข้อดีของการพิมพ์ระบบที่ใช้การผลึกหมึกด้วยแรงจากเพียโซคือ หมึกที่ใช้จะไม่ประสบปัญหาการอุดตันของหัวพิมพ์ที่เกิดของการไหม้ของพอลิเมอร์ (kogation) ที่สามารถเกิดได้ในการพิมพ์อิงค์เจ็ทที่ผลึกหมึกด้วยความร้อน (thermal ink jet printing)



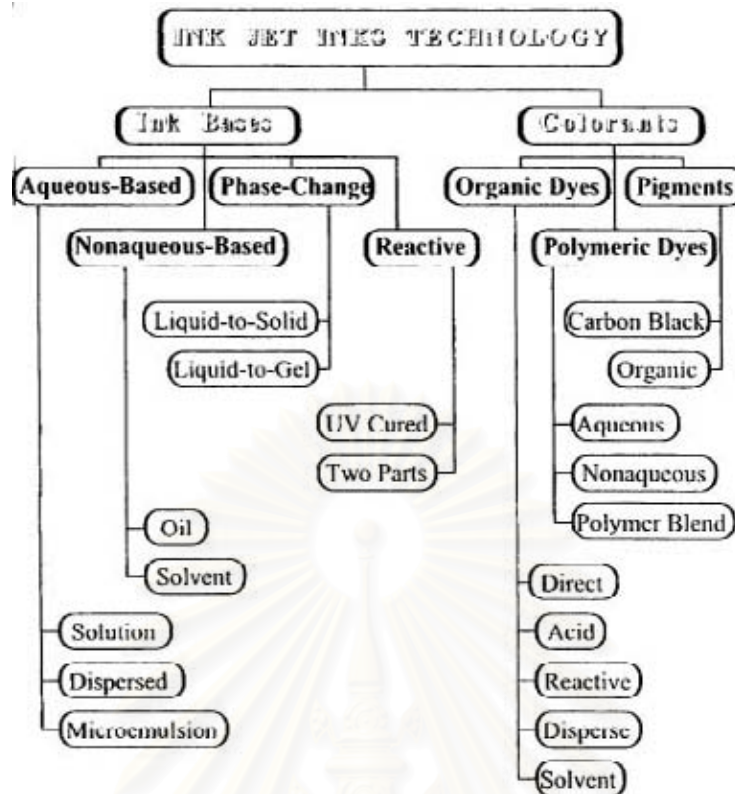
รูปที่ 2.3 แสดงเทคโนโลยีการพิมพ์อิงค์เจ็ทคำสั่งอิงค์เจ็ทแบบเพียโซ³

2.1.2.3 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท

หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากสำหรับการพิมพ์ระบบนี้ ดังนั้นการศึกษาเคมีเกี่ยวกับหมึกพิมพ์ถือเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะเคมีของหมึกพิมพ์เป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะของการผลิตหยดหมึก ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของสิ่งพิมพ์และความน่าเชื่อถือของระบบพิมพ์

หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ตามองค์ประกอบพื้นฐานของหมึกพิมพ์ และสารให้สีที่ใช้เป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์ โดยขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์กับงานต่างๆ หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้ดังรูปที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แสดงประเภทของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตที่ใช้ในปัจจุบัน³

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำไซลมาเป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตฐานน้ำ โดยใช้องค์ประกอบของสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตฐานน้ำทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตเพื่อการค้า ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 จากตารางดังกล่าวนอกจากองค์ประกอบของสูตรหมึกที่แสดงไว้ ยังประกอบไปด้วยสมบัติทางกายภาพต่างๆที่จำเป็นต่อการปรับปรุงหมึกพิมพ์ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตรูานน้ำที่ใช้ใน
อุตสาหกรรมการผลิต⁴

องค์ประกอบของสูตรหมึก	
ส่วนประกอบ	อัตราส่วนของน้ำหนัก
ตัวทำละลาย น้ำ	0.7955
ตัวทำละลายร่วม กลีเซอริน	0.1800
สารลดแรงตึงผิว	0.0550
สีย้อม	0.0275
รวม	1.0000

สมบัติทางกายภาพที่วัดได้	
สมบัติทางกายภาพ	ค่าที่วัดได้
ค่าความหนืด (cP)	2.71
ค่าแรงตึงผิว (dyne/cm)	36.50
% การส่องผ่าน (ที่ 430 nm)	25.90
pH	7.58

2.1.2.4 สมบัติทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตรูานน้ำ

2.1.2.4.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์และแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์

ความหนืด (viscosity) ของหมึกพิมพ์และแรงตึงผิว (surface tension) ของหมึกพิมพ์มีความสำคัญโดยตรงต่อการพิมพ์ได้ของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทกับระบบการปล่อยหมึกของเครื่องพิมพ์ โดยสมบัติทั้งสองดังกล่าวนี้เป็นสมบัติทางกายภาพที่ควบคุมรูปแบบของหยดหมึก

หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตรูานน้ำเป็นหมึกที่มีความหนืดต่ำ ความหนืดของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2-8 เซนติพอยส์³ ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ต่ำมีความสำคัญทั้งในการลำเลียงหมึกผ่านหัวพิมพ์และลักษณะของหยดหมึก ดังนั้นความหนืดควรมีลักษณะเป็นไปตามของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) ให้มากที่สุด

แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์มีความสัมพันธ์กับพลังงานการยึดเกาะกันของแต่ละโมเลกุลของของเหลว ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะหยดหมึก ในทางปฏิบัติ น้ำเป็นตัวทำละลายที่ทำให้ค่าแรงตึงผิวมีค่ามากที่สุด แต่ค่าแรงตึงผิวมักมีค่าน้อยลงเนื่องจากส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ สารให้สี พอลิเมอร์ และสารเติมแต่งอื่นๆ

2.1.2.4.2 ขนาดของอนุภาค (Particle size)

ตามปกติหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทจำเป็นต้องไหลผ่านรูเล็กๆที่บริเวณหัวพิมพ์ของ ตลับหมึก (orifice) ดังนั้นขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดควรมีขนาดไม่เกินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ของรูเล็กๆบริเวณหัวพิมพ์ เพื่อป้องกันการอุดตันของหมึกที่บริเวณหัวพิมพ์ การควบคุมขนาดของ อนุภาคสามารถทำได้โดยผ่านกระบวนการกรอง (filtration) ทั้งในกระบวนการผลิตหมึกและขณะ ทำการพิมพ์

2.1.3 ปริภูมิสีระบบ CIELAB

ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ หรือ CIELAB เป็นอีกระบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการวัดค่า สีอย่างแพร่หลายมากที่สุด ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ เป็นปริภูมิสีที่มีสเกลสม่ำเสมอซึ่งถูกพัฒนาขึ้น โดยองค์การระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเรื่องสีและแสง CIE (Le Commission Internationale de L'Eclairage) ในปีค.ศ. 1976 โดยค่า L^* หมายถึงความสว่าง ส่วนค่า a^* และ b^* เป็นค่า สัมประสิทธิ์ของสีที่แสดงถึงทิศทางของสี โดย $+a^*$ บ่งบอกถึงสีที่อยู่ในขอบเขตสีแดง $-a^*$ บ่งบอก ถึงสีที่อยู่ในขอบเขตสีเขียว $+b^*$ บ่งบอกถึงสีที่อยู่ในขอบเขตสีเหลือง และ $-b^*$ บ่งบอกถึงสีที่อยู่ใน ขอบเขตสีน้ำเงินดังรูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของค่า L^* a^* และ b^* สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (2.6)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (2.7)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (2.8)$$

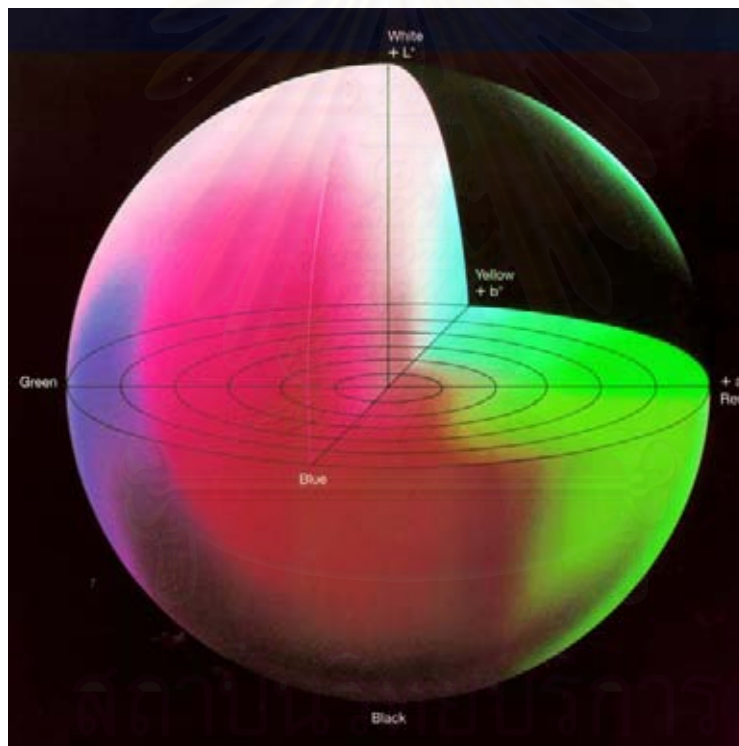
เมื่อ X, Y, Z คือค่าไตรสติมูลต์ XYZ สำหรับมาตรฐานการมองเห็นที่ 2° (สามารถแทนด้วย X_{10}, Y_{10}, Z_{10} สำหรับมาตรฐานการมองเห็นที่ 10°)
 X_n, Y_n, Z_n ค่าไตรสติมูลต์ XYZ ของจุดขาวอ้างอิง

หากค่า X/X_n , Y/Y_n , หรือ Z/Z_n มีค่าน้อยกว่า 0.008856 ค่า $(X/X_n)^{1/3}$, $(Y/Y_n)^{1/3}$, และ $(Z/Z_n)^{1/3}$ จะต้องเปลี่ยนค่าดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} = 7.787\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} + \frac{16}{116} \quad (2.9)$$

$$\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} = 7.787\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} + \frac{16}{116} \quad (2.10)$$

$$\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3} = 7.787\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/3} + \frac{16}{116} \quad (2.11)$$

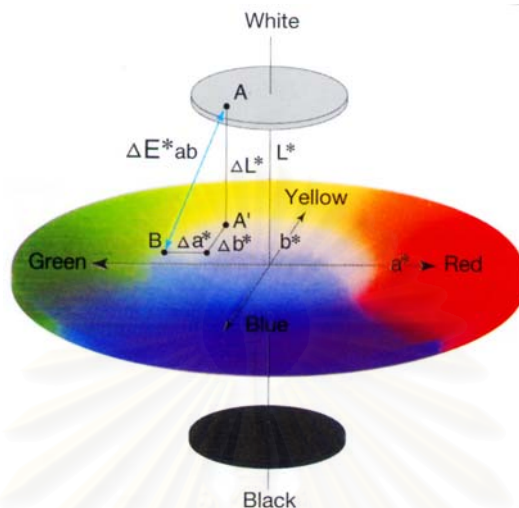


รูปที่ 2.5 แสดงปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ หรือ CIELAB

ความแตกต่างของสีตามระบบ $L^*a^*b^*$ สามารถแสดงเป็นค่าเพียงค่าเดียว เรียกว่า เดลต้าอี (ΔE^*_{ab}) ค่านี้เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความแตกต่างของสีเท่านั้น แต่ไม่สามารถบอกทิศทางของความแตกต่างของสีได้ดังรูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ ΔE^*_{ab} สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.12

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.12)$$

เมื่อ ΔL^* Δa^* และ Δb^* คือค่าความแตกต่างของ L^* a^* และ b^* ของสีที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของสี ΔE_{ab}^* ตามปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไฮโดรเจลเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการนำกระบวนการไฮโดรเจลมาประยุกต์ใช้กับการพิมพ์อิงค์เจ็ต การศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลและวิทยาการกระจายของไฮโดรเจลจึงมีความสำคัญอย่างมาก Sakka⁵ อธิบายพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน และนอนนิวโตเนียนที่เป็นไปตามลักษณะทางธรรมชาติของอนุภาค นอกจากนี้ยังศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเวลาในการเกิดเจล (gelation time) ของไฮโดรเจล ได้แก่ คุณสมบัติของการเกิดปฏิกิริยา ระบบของการเกิดปฏิกิริยา (ระบบปิดหรือระบบเปิด) กระบวนการเกิดปฏิกิริยา ผลกระทบของความเป็นกรดเป็นเบสและตัวเร่งปฏิกิริยา สารประกอบตั้งต้นประเภทซิลิคอนอัลคอกไซด์ และอัตราส่วนของน้ำต่ออัลคอกไซด์ของสาร

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาของ TEOS Badescu et al.⁶ ใช้เทคนิค GC-MS (Gas-chromatography couple with mass spectrometry) ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาควบแน่นเซชัน (hydrolysis and condensation) ของ TEOS ในตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ เอทานอล (ethanol) เมทานอล (methanol) และ โพรพานอล (propanol) โดยเตรียมสารในอัตราส่วนโดยโมลของ $\text{Si}(\text{OEt})_4:\text{H}_2\text{O}:\text{EtOH}$, $\text{Si}(\text{OEt})_4:\text{H}_2\text{O}:\text{MeOH}$ และ $\text{Si}(\text{OEt})_4:\text{H}_2\text{O}:\text{PrOH}$ เป็น 1:1:1.75 และปรับค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายที่ pH 3.5 จากการศึกษาพบว่า

TEOS ที่ไฮโดรไลซ์ในตัวทำละลายเอทานอล เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสมบูรณ์ภายในเวลา 48 ชั่วโมง

ในงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบผิว Yoldas⁷ พัฒนาสารเคลือบผิวที่เป็นฟิล์มไฮโดรเจลสำหรับการพิมพ์อิงค์เจ็ท โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนได้แก่ AIO(OH) ที่เป็นไฮโดร Cellulose ether และ Polyvinyl alcohol (PVA) เพื่อปรับปรุงสมบัติในการแห้งตัว สมบัติความทนทานต่อแสง ความสามารถในการรับหมึก และความทนทานต่อการขีดถู สารเคลือบผิวชนิดนี้เหมาะในการเคลือบผิวสิ่งทอ และพลาสติก เป็นต้น นอกจากนี้มีการนำ ไฮโดรเจล ที่เป็นวัสดุประเภทซิลิกา (silica)⁷ เคลือบผิวบนสิ่งพิมพ์สำหรับการพิมพ์อิงค์เจ็ทให้มีรูพรุนและกักเก็บหมึกอยู่ได้ เพื่อให้สิ่งพิมพ์มีความมันวาว และป้องกันการซึมเปื้อนเมื่อถูกความชื้นและน้ำ ทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสิ่งพิมพ์

นอกจากงานที่เคลือบผิวบนสิ่งพิมพ์แล้ว ยังมีการนำไฮโดรเจลมาใช้ในการเคลือบผิวบนสิ่งทอ Mahltig and Böttcher⁸ กล่าวถึงประโยชน์ของการนำไฮโดรเจลชนิดที่เป็นสารอนินทรีย์มาใช้ในการปรับปรุงสิ่งทอในปัจจุบัน ได้แก่ การปรับปรุงความทนทานต่อการขีดถู การป้องกันรังสียูวี การผลักน้ำและน้ำมัน เป็นต้น โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การเตรียมสิ่งทอที่มีความสามารถในการผลักน้ำได้ดีด้วยสารเคลือบที่ไม่มีฟลูออรีนเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากสารเคลือบที่มีฟลูออรีนเป็นส่วนประกอบ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นอันตรายต่อผิวหนังของมนุษย์ งานวิจัยนี้ใช้ไฮโดรเจลเป็นสารเคลือบผิวที่เตรียมด้วยกระบวนการไฮโดรเจล ได้แก่ TEOS และ GLYCEO (3-glycidoxypropyl triethoxysilane) และใช้สารเติมแต่งชนิดต่างๆ ได้แก่ สารประกอบอัลคิลไตรอัลคอกซิลไฮโดรเจน (alkyltrialkoxysilane) ที่มีความยาวโซ่ของหมู่อัลคอกซิลขนาดต่างๆ อนุพันธ์สารประกอบประเภทฟลูออโรไฮโดรเจนที่ไม่ชอบน้ำชนิดต่างๆ และสารประกอบประเภทฟลูออรีเนต (fluorinate compound) ในการเปรียบเทียบความไม่ชอบน้ำ พบว่า สารประกอบเฮกซะเดซิลไฮโดรเจน (hexadecylsilane) เป็นสารเติมแต่งของไฮโดรเจล ที่สามารถนำไปใช้เคลือบผิวสิ่งทอให้มีสมบัติการผลักน้ำได้อย่างดีเยี่ยม โดยปราศจากการใช้สารเติมแต่งที่มีฟลูออรีนเป็นส่วนประกอบ

สำหรับการเคลือบผิวบนแผ่นกระดาษ Jeong et al.⁹ เตรียมสารเคลือบผิวด้วยกระบวนการไฮโดรเจล โดยใช้สารละลายประเภทอัลคอกซิลไฮโดรเจนที่ประกอบไปด้วย เพอร์ฟลูออโรอัลคิลไฮโดรเจน (perfluoroalkylsilane) และ TEOS พบว่าแผ่นกระดาษที่เตรียมได้ มีความสามารถในการผลักน้ำได้อย่างดีเยี่ยม ซึ่งเป็นผลมาจากกลุ่มสารประกอบเพอร์ฟลูออโรอัลคิล (perfluoroalkyl group)

นอกจากนี้มีการศึกษาการห่อหุ้มสีย้อมภายในอนุภาคของซิลิกา Kim et al.¹⁰ เตรียมอนุภาคของไฮโดรเจลประเภทโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) ด้วยกระบวนการไฮโดรเจล และใช้

สีย้อมที่ละลายน้ำ พบว่าการเติม GPTS (3-glycidoxypropyltrimethoxysilane) ส่งผลให้เกิดการคงสภาพได้อย่างดีเพื่อดำเนินการพิมพ์สีละลายของสีย้อม

สำหรับการรวมตัวกันของสารสีกับซิล *Böhmer and Keursten*¹¹ นำสารสีอินทรีย์ (organic pigment) ชนิดต่างๆ ผสมกับ ซิล ที่ได้จาก TEOS ที่ผ่านการไฮโดรไลส์ เคลือบผิวด้วยวิธีสปินโคต (spincoat) บนแผ่นแก้วเพื่อนำไปใช้ในการผลิตหลอดรังสีแคโทด พบว่าชั้นที่เป็นสารสีมีความต้านทานต่อแสงดี

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบที่เตรียมด้วยกระบวนการซิลเจล และนำมาประยุกต์ใช้กับการพิมพ์อิงก์เจตอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการพิมพ์บนผลิตภัณฑ์เซรามิก และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดต่างๆ *Atkinson et al.*¹² ศึกษาการใช้หมึกพิมพ์ที่เตรียมด้วยกระบวนการซิลเจล และนำหมึกที่เตรียมได้มาพิมพ์โดยใช้การพิมพ์อิงก์เจตแบบต่อเนื่อง (Continuous inkjet printing) สำหรับพิมพ์บนผลิตภัณฑ์เซรามิก หมึกพิมพ์นี้อยู่ในรูปของซิลที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ สามารถแห้งตัวเป็นเจล และให้สีหลังจากกระบวนการพิมพ์และการเผา ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยที่กระจายตัวในหมึกพิมพ์โดยประมาณ ควรมีค่าไม่เกิน 10 nm เพื่อป้องกันการเป็นเจลก่อนกำหนดที่บริเวณหัวพิมพ์ของตลับหมึก รายงานของการทดลองนี้แสดงถึงข้อได้เปรียบของการพิมพ์อิงก์เจตบนผลิตภัณฑ์เซรามิก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพิมพ์สกรีนแบบเดิม โดยการพิมพ์สกรีนไม่สามารถพิมพ์บนชิ้นงานที่เปราะบาง หรือบริเวณขอบของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีรายงานของ *Atkinson and Segal*¹³ กล่าวถึงการนำกระบวนการซิลเจลไปใช้งานในลักษณะต่างๆ ในปัจจุบัน และกล่าวถึงข้อดีของสีเซรามิกที่เตรียมด้วยกระบวนการซิลเจลว่าใช้คุณสมบัติในการเผาต่ำกว่าวิธีการดั้งเดิมซึ่งเป็น solid-state reaction โดยหมึกพิมพ์ที่มีซิลเป็นส่วนประกอบที่ใช้กับการพิมพ์อิงก์เจตแบบต่อเนื่องนี้ สามารถใช้ได้ทั้งกระเบื้องที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว

นอกจากนี้มีการนำการพิมพ์อิงก์เจตมาประยุกต์ใช้กับการทำแม่พิมพ์ออฟเซต *DeBoer et al.*¹⁴ ใช้เครื่องพิมพ์ระบบอิงก์เจตพิมพ์ด้วยสารละลายที่มีซิลเป็นส่วนประกอบลงบนฐานแม่พิมพ์ เพื่อทำให้เกิดภาพบนแผ่นโลหะด้วยพอลิเมอร์ของซิล ในส่วนที่เป็นภาพนี้มีสมบัติในการรับหมึกพิมพ์ออฟเซตและสามารถนำไปใช้ในการพิมพ์ออฟเซตได้ ในรายงานนี้พบการทดลองใช้ TEOS ที่ผ่านการไฮโดรไลส์แล้วเพื่อผลิตภาพบนแม่พิมพ์ แต่เนื่องจากภาพบนโลหะที่ได้จากการพิมพ์ด้วย ซิล จาก TEOS มีสีขาวและมีสมบัติไม่รับหมึกพิมพ์ออฟเซต ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการพิมพ์บนฐานแม่พิมพ์ออฟเซตได้

สำหรับงานขึ้นรูปไมโครเลนส์ (Microlenses) ที่เป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับชนิดต่างๆ ใยแก้วนำแสง และจอภาพคอมพิวเตอร์ชนิดแบน เป็นต้น *Danzebrink and Aegerter*¹⁵ นำระบบพิมพ์อิงก์เจตทางการค้าแบบตาม

คำสั่ง (commercial drop-on-demand ink-jet printing system) ที่ใช้หัวพิมพ์เพียโซอิเล็กทริก เซรามิก (piezoelectric ceramic) ประยุกต์กับโซลแบบผสมระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (hybrid organic-inorganic sol) ได้แก่ methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPTS) กับ ethanolic solution of tetraethyleneglycoldimetaacrylate (TEGDMA) และมีตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยรังสียูวี โดยโซลที่ได้จะถูกเจือจางด้วยเอทานอลให้มีความหนืดที่เหมาะสม และพิมพ์ลงบนกระจกเคลือบผิวที่มีพลังงานผิวต่ำเพื่อควบคุมรูปร่างของไมโครเลนส์ สำหรับสมบัติที่จำเป็นของโซลที่ใช้ในการพิมพ์อิงก์เจ็ตนี้ ได้แก่ ความหนืดเชิงความเร็วต้องมีค่าไม่เกิน $3 \text{ mm}^2/\text{s}$ สำหรับค่าอัตราเฉือน (shear rate) 500 s^{-1} เพื่อให้โซลสามารถผ่านหัวพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก $50 \text{ }\mu\text{m}$ ได้

นอกจากนี้ได้มีการนำโซลมาใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มเซรามิก โดย Ding et al.¹⁶ นำเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต Epson รุ่น C-20 ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์แบบตั้งโต๊ะ ขึ้นรูปฟิล์มบางของ แบเรียม สตรอนเชียม ไททาเนต (Barium strontium titanate, BST) ที่เป็นสารประกอบที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ เซรามิก (Electroc ceramic) โดยเตรียมโซลจาก แบเรียม อะซิเตต (barium acetate) สตรอนเชียม อะซิเตต (strontium acetate) เตตระบิวทิล ไททาเนต (tetrabutyl titanate) กรดอะซิติก (acetic acid) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) โดยศึกษาปริมาณกรดอะซิติกกับเอทิลีนไกลคอลที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อหาโซลที่มีความเสถียรเหมาะสมต่อการพิมพ์อิงก์เจ็ต และใช้ฟอร์มามาไมด์ (formamide) ทำหน้าที่ปรับความหนืดของโซล ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงสมบัติที่จำเป็นของโซลในการขึ้นรูปฟิล์มบางด้วยการพิมพ์อิงก์เจ็ตได้แก่ ความหนืดและแรงตึงผิว โดยเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพของหมึกพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ Epson รุ่น C-20

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารเคมี

1. สีย้อม Acid Blue 9 : CI Number 42090
2. หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันชนิดเติมของบริษัท Inkman ได้แก่ หมึกพิมพ์สีฟ้า สีแดง สีเหลือง และสีดำ
3. น้ำกลั่นไร้ประจุ (De-ionized water)
4. ตัวทำละลาย:
 - กลีเซอรอล (Glycerol, $C_3H_8O_3$) บริษัท Carlo erba reagenti ชนิดวิเคราะห์
สารละลายไม่มีสี
น้ำหนักโมเลกุล 92.09 g/mol ความหนาแน่น 1.257 g/cm³
 - ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethylene glycol, $C_4H_{10}O_3$) บริษัท Fluka ชนิดวิเคราะห์
สารละลายไม่มีสี จุดเดือด 123-126°C
น้ำหนักโมเลกุล 106.12 g/mol ความหนาแน่น 1.113 g/cm³
 - เอทานอล (Ethanol, C_2H_6O) บริษัท Merck ชนิดวิเคราะห์
สารละลายไม่มีสี จุดเดือด 78.3°C
น้ำหนักโมเลกุล 46.07 g/mol ความหนาแน่น 0.790 g/cm³
5. สารลดแรงตึงผิว:
 - อะเซทิลีนิกไกลคอล (Acetylenic glycol) ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Canon
6. สารประกอบตั้งต้น (precursor):
 - เตตระเอทอกซีซิลเลน (Tetraethoxysilane (TEOS), $Si(OC_2H_5)_4$) บริษัท Fluka ชนิดวิเคราะห์
สารละลายไม่มีสี จุดเดือด 163-167°C
น้ำหนักโมเลกุล 208.33 g/mol ความหนาแน่น 0.933 g/cm³

7. ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst):

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) 37%

บริษัท Carlo erba reagenti ชนิดวิเคราะห์

สารละลายไม่มีสี

น้ำหนักโมเลกุล 36.46 g/mol ความหนาแน่น 1.186 g/cm³

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

บริษัท Univar ชนิดวิเคราะห์

ของแข็งชนิดเม็ดสีขาว

น้ำหนักโมเลกุล 40 g/mol

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสัน : Epson stylus C60
2. หัวพิมพ์ (Print Head) สำหรับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสัน (Epson stylus C60)
3. ตลับหมึกเปล่าของบริษัท MIS Associates, Inc. รุ่น ARC-T028-EC และรุ่น ARC-T029-EC
4. เครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแคนนอน: Canon BJ F850
5. ตลับหมึกเปล่าสำหรับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแคนนอน (Canon BJ F850)
6. เครื่องวัดความหนืดของ Brookfield: DV III programmable Rheometer, USA
7. เครื่องวัดแรงตึงผิว (Surface tensiometer): K8, Kruss, Germany
8. เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ของบริษัท X-Rite ที่มีสภาวะในการวัดดังนี้
 - แหล่งกำเนิดแสง Daylight ที่อุณหภูมิสี 6500 K
 - 10° observer d/8
 - รวมแสงสะท้อนกลับหมด (Specular component include, SPIN)
9. เครื่องวัดความดำ (Spectrodensitometer) ของบริษัท X-Rite รุ่น 500 Series
10. กล้องจุลทรรศน์ ของบริษัท Olympus รุ่น BX60
11. ยูวี วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-VIS Spectroscopy) รุ่น SPECORD S100
12. เครื่องวัดความเป็นกรดเบส (pH Meter) ของ Schott รุ่น GC842/14
13. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography Mass spectrometer, GC-MS) ของ Fison รุ่น MD 800

14. Xenon Weather meter ของบริษัท Suga test instrument ,Inc. แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ หลอดซีนอน (Xenon lamp) ที่มีสภาวะดังนี้
 - กำลังต่อพื้นที่ 42 W/m^2 ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร
 - อุณหภูมิ $63 \pm 3^\circ\text{C}$
 - ความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 5 \% \text{RH}$
15. แอร์บรัช (Air brush) ของบริษัท Badger air-brush co. รุ่น 250-2
16. แก๊สกระป๋อง (Badger propel) ขนาด 16 ออนซ์
17. ดินสอ staedtler เบอร์ F HB B 2B 3B 4B 5B 6B H 2H 3H 4H และ 5H
18. ขดลวดสำหรับเคลือบผิว K-bar เบอร์ 1 ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางขดลวด 0.08 มิลลิเมตร และให้ความหนาของฟิล์มขณะเปียก 6 ไมครอน ของบริษัท R.K. Print Coat Instrument Ltd.,UK
19. วัสดุพิมพ์:
 - กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว (Glossy) สำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัท Canon รุ่น PR-101
 - กระดาษเคลือบผิวชนิดด้าน (Matte) สำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัท Epson
 - กระดาษรีไซเคิล
 - แผ่นใสไม่เคลือบผิว
 - แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ต
 - กระดาษสา
 - กระดาษไล่ได้
 - พลาสติกเคลือบผิวสำหรับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตขนาดใหญ่

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักได้แก่ ขั้นตอนในการเตรียมโซลและทดสอบสมบัติให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต และขั้นตอนการเตรียมหมึกให้เหมาะกับการพิมพ์อิงก์เจ็ตพร้อมทั้งวัดสมบัติหลังการพิมพ์ของสิ่งพิมพ์

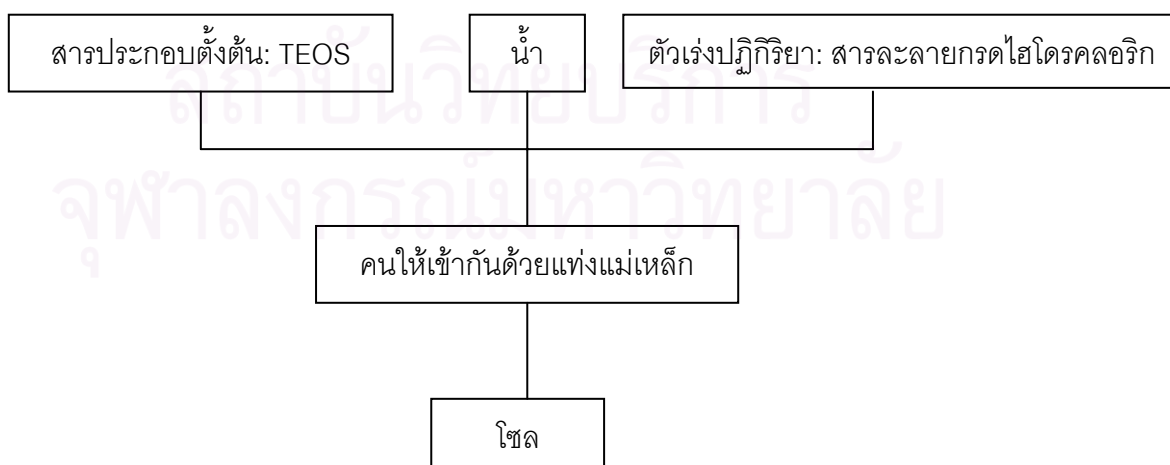
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมซิลและการทดสอบสมบัติของซิล

3.2.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ซิลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)

ขั้นตอนใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีเพื่อศึกษาความสมบูรณ์ในการถูกไฮโดรไลซ์ของ TEOS โดยสังเกตจากปริมาณของ TEOS ในซิลที่ลดลงจนกระทั่งหมดไปด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography Mass spectrometer, GC-MS) ของ Fison รุ่น MD 800 โดยใช้ซิลที่เตรียมจาก TEOS ปริมาตร 2 ml กับ สารละลายไฮโดรคลอริก pH 2 ปริมาตร 2 ml และตรวจสอบด้วยเครื่อง GC-MS ที่เวลาหลังจากการผสมเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารตั้งต้นได้แก่ TEOS ในระบบ

3.2.1.2 ขั้นตอนการเตรียมซิล

ขั้นตอนนี้เป็นการสังเคราะห์ซิลด้วยกระบวนการโซลเจล เพื่อให้ได้องค์ประกอบที่เหมาะสมกับการพิมพ์อิงค์เจ็ต ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบตั้งต้น (precursor) ได้แก่ เตตระเอทอกซีไฮโดรซิลเลน (TEOS, tetraethoxysilane) น้ำ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งได้ทำการทดสอบปฏิกิริยาของซิลก่อนด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ดังอธิบายในหัวข้อ 3.2.1.1 ขั้นตอนในการเตรียมซิลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ และสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงการเตรียมซิลด้วย TEOS ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมโซลในขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย TEOS เป็นสารประกอบตั้งต้น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และมีน้ำเป็นองค์ประกอบ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบของโซลเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ชุดที่ 1 ถึง ชุดที่ 5)

ชุดที่	TEOS: H ₂ O: HCl (อัตราส่วนโดยโมล)	TEOS (ml)	Deionised water (ml)	สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.224F (ml)
1	1: 2.48: 0.01	10	0	2
2	1: 4.95: 0.01	10	2	2
3	1: 7.43: 0.01	10	4	2
4	1: 9.90: 0.01	10	6	2
5	1: 12.38: 0.01	10	8	2

ในขั้นตอนนี้ เตรียมโซลแต่ละชุดการทดลองเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนสำหรับวัดความหนืด และส่วนสำหรับระเหยแห้งตามตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาน้ำหนักของเจลแห้ง เพื่อวิเคราะห์ผลของความหนืดของโซลและเปอร์เซ็นต์ของเจลแห้ง สำหรับนำไปใช้เป็นส่วนประกอบที่เหมาะสมของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ

3.2.1.3 การทดสอบสมบัติของโซล

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนทดสอบสมบัติของโซล โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนสำหรับระเหยเพื่อหาน้ำหนักของเจลแห้ง และส่วนสำหรับวัดความหนืด สำหรับส่วนการระเหยเพื่อหาน้ำหนักของเจลแห้งเป็นขั้นตอนการระเหยโซลเพื่อทราบปริมาณเจลแห้งที่เป็นของแข็งและวิเคราะห์อัตราส่วนเจลแห้งของโซลที่เหมาะสมกับปริมาณสีย้อม โดยหลังจากเตรียมโซลและบันทึกเวลาการเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของโซลแล้ว นำโซลทั้ง 5 ชุด ได้แก่ โซลชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 5 ที่เก็บไว้ในขวดปิดฝาแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำหนักของโซลที่อยู่ในรูปของของเหลว แล้วระเหยแห้งโซลเพื่อชั่งน้ำหนักของเจลแห้งที่อยู่ในรูปของของแข็ง จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์ของเจลแห้งที่เหลืออยู่และวิเคราะห์ผลของปริมาณเจลแห้งเพื่อหาโซลที่เหมาะสมกับการนำไปใช้กับหมึกพิมพ์

ส่วนสำหรับวัดความหนืดและสังเกตการเป็นเจลที่เก็บในระบบปิด นำไซลที่เตรียมได้ ทั้ง 5 ชุด วัดความหนืดหลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดความหนืดของ Brookfield: DV III programmable rheometer ที่อัตราเฉือน (shear rate) 66.0 s^{-1} 132.0 s^{-1} 198.0 s^{-1} 264.0 s^{-1} และ 330.0 s^{-1} โดยควบคุมอุณหภูมิที่ $25\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ หลังจากนั้นนำไซลทั้ง 5 ชุดเก็บไว้ในขวดปิดฝา เพื่อบันทึกเวลาการเกิดเจล

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเมื่อมีไซลเป็นส่วนประกอบ

งานวิจัยนี้ใช้สูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้ในการอ้างอิงได้แก่ สูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าของบริษัทหนึ่งที่ใช้ระบบผลึกหมึกด้วยความร้อน และสูตรหมึกทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต⁴ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และ ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของสูตรหมึกดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 สูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าสำหรับเครื่องพิมพ์ที่ใช้ระบบผลึกหมึกด้วยความร้อน

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
สารละลายสีย้อม Acid blue 9	10%
ตัวทำละลาย	กลีเซอรอล
	ไดเอทิลีนไกลคอล
สารลดแรงตึงผิว อะเซทิลีนิก ไกลคอล	3
10%	
น้ำ	37

ตารางที่ 3.3 สูตรหมึกทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
น้ำ	73.55
ตัวทำละลาย	18.0
สารลดแรงตึงผิว	5.50
สีย้อม	2.75
สารยับยั้งจุลินทรีย์	0.20

3.2.2.1 การทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า ระบบเปียกที่ใช้ในปัจจุบัน

ขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า ระบบเปียกที่ใช้ในปัจจุบัน โดยทดสอบ ความหนืดของหมึกพิมพ์ แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ และ ค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์ เพื่อนำค่าที่ได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติการพิมพ์ได้ ของหมึกพิมพ์ที่มีซิลเป็นส่วนประกอบสำหรับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทของเอปสัน รุ่น Epson C-60 ที่ ใช้ระบบเปียกในการพ่นหมึก

โดยในการทดสอบนี้ เลือกหมึกพิมพ์ชนิดเดิมที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันของ บริษัท Inkman ประกอบไปด้วย หมึกพิมพ์สีฟ้า สีแดง สีเหลือง และสีดำ

3.2.2.2 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเบื้องต้น เพื่อทดสอบการทนทาน ต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์ม

ในขั้นตอนนี้เป็น การเตรียมหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเพื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพ โดยนำวัสดุพิมพ์ชนิดต่างๆเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนกระจกสไลด์และการพ่นหมึกด้วย แอร์บรัช (air brush) แล้วนำไปทดสอบการทนทานต่อน้ำในเบื้องต้น โดยใช้ลำลีชุบน้ำเช็ดขึ้นลง และทดสอบความแข็งของชั้นฟิล์มโดยวิธี pencil hardness test วัสดุพิมพ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่

- กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ท
- กระดาษเคลือบผิวชนิดด้านสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ท
- แผ่นใสไม่เคลือบผิว
- กระจกสไลด์

สูตรหมึกที่เตรียมในขั้นตอนนี้ได้แก่

หมึกสูตรที่ 1 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า

หมึกสูตรที่ 2 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่ใช้ซิลแทนน้ำในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์

หมึกสูตรที่ 3 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่ใช้ซิลแทนน้ำในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ และลด ปริมาณสี้อยลง

หมึกสูตรที่ 4 ซิลต่อสารละลายสี้อย 1:1 ใช้ซิล TEOS: H₂O:HCl = 1: 2.48 : 0.01

หมึกสูตรที่ 5 ซิลต่อสารละลายสี้อย ใช้ซิล TEOS: H₂O:HCl = 1: 12.38 : 0.01

องค์ประกอบของสูตรหมึกดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเบื้องต้น เพื่อทดสอบการทนทานต่อน้ำและความต้านทานต่อการขีดข่วน

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)				
	หมึก สูตรที่ 1	หมึก สูตรที่ 2	หมึก สูตรที่ 3	หมึก สูตรที่ 4	หมึก สูตรที่ 5
สารละลายสีย้อม Acid blue 9 10%	40	40	25	50	50
ตัวทำละลาย: กลีเซอรอล	15	15	18.75	-	-
ไดเอทิลีนไกลคอล	5	5	6.25	-	-
สารลดแรงตึงผิว อะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%	3	3	3.75	-	-
ไซล (TEOS:H ₂ O:HCl = 1: 2.48 : 0.01)	-	-	-	50	-
ไซล (TEOS:H ₂ O:HCl = 1: 12.38 : 0.01)	-	37	46.25	-	50
น้ำ	37	-	-	-	-

นอกจากนี้มีการสังเกตการซึมของหมึกพิมพ์ที่ถูกลบด้วยเออร์บัชลงบน กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ท ของหมึกพิมพ์ที่มีไซลและไม่มีไซลเป็นองค์ประกอบ โดยแสดงผลด้วยภาพตัดขวางที่ใช้กำลังขยาย 50X เพื่อศึกษาการซึมผ่านของหมึกลงในกระดาษ

3.2.2.3 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีไซลเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก

ขั้นตอนนี้เป็นารเตรียมหมึกที่มีไซลโดยอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O: HCl = 1:12.38:0.01 ที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 73.5% 58.5% 50.0% 43.5% และ 28.5% เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณไซลที่มีผลต่อองค์ประกอบของสูตรหมึก โดยการวางแผนสูตรหมึกต่างๆ เหล่านี้ใช้สูตรหมึกทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเป็นสูตรหมึกอ้างอิง สูตรหมึกที่เตรียมดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงสูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเมื่อมีซิลเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก

หมึกสูตรที่	ปริมาณ (%)				
	ซิล*	น้ำ	กลีเซอรอล**	อะเซทีลีนิก ไกลคอล ***	สีย่อย†
6	73.5	-	18.0	5.5	3.0
7	58.5	15.0	18.0	5.5	3.0
8	50.0	18.0	18.0	5.5	3.0
9	43.5	30.0	18.0	5.5	3.0
10	28.5	45.0	18.0	5.5	3.0

หมายเหตุ * ซิลมีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O: HCl = 1: 12.38: 0.01

** ตัวทำละลาย

*** สารลดแรงตึงผิว อะเซทีลีนิก ไกลคอล 10%

† สีย่อย Acid blue 9

หมึกที่เตรียมได้ดังกล่าวถูกนำไปเก็บไว้ในขวดแก้วปิดฝาเป็นเวลา 1 วันก่อนนำไปวัดสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนืดของหมึกพิมพ์ แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ และความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์ จากนั้นนำหมึกพิมพ์ดังกล่าวเคลือบผิวด้วยชุดลวด K-bar เบอร์ 1 ซึ่งให้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกเท่ากับ 6 ไมครอน ลงบนวัสดุพิมพ์ ได้แก่

- แผ่นใสแบบไม่เคลือบผิว
- กระดาษไล่

โดยปล่อยให้ฟิล์มการแห้งตัวตามธรรมชาติ จากนั้นสังเกตลักษณะทางกายภาพและบันทึกผลของสิ่งพิมพ์ต่างๆ

นอกจากนี้ได้ศึกษาการส่องผ่านแสงของหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง ยูวี วิสเปกโตรสโกปี (UV-VIS Spectroscopy) รุ่น SPECORD S100 ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 380-780 นาโนเมตร โดยเจือจางสารตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 0.005 mg/l กับหมึกพิมพ์ทั้ง 5 สูตรข้างต้น และหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าของแคนนอนสูตรที่มีสีย่อยเป็นองค์ประกอบ 3% และ 4% ตามลำดับ องค์ประกอบของสูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าของแคนนอนดังกล่าว มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.6 แสดงสูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าที่มีสีย้อมเป็นองค์ประกอบ 3% และ 4%

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)	
	สีย้อม 3%	สีย้อม 4%
สารละลายสีย้อม Acid blue 9 10%	30	40
ตัวทำละลาย กลีเซอรอล	15	15
	ไดเอทิลีนไกลคอล	5
สารลดแรงตึงผิว อะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%	3	3
น้ำ	47	37

3.2.2.4 การพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ

การเตรียมหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต ต้องปรับสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นได้แก่ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ เพื่อให้หมึกพิมพ์สามารถไหลผ่านรูขนาดเล็กของหัวพิมพ์ได้ ขั้นตอนนี้จึงวางแผนสูตรหมึกที่เริ่มจากการใช้โซลในปริมาณน้อย โดยใช้โซลที่มีอัตราส่วนโดยโมล $TEOS:H_2O:HCl = 1:12.38:0.01$ เป็นปริมาณตั้งแต่ 10% และเพิ่มปริมาณโซลขึ้นทีละ 5% ของสูตรหมึก พร้อมทั้งปรับเปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิวได้แก่ อะเซทิลีนิก ไกลคอล ให้เหมาะสมกับหมึกพิมพ์ เพื่อให้สามารถพิมพ์ผ่านหัวพิมพ์ได้ โดยวัดสมบัติของหมึกหลังจากเตรียมหมึกทุกสูตรก่อนการพิมพ์ ได้แก่ ความหนืดของหมึกพิมพ์ แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ และความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์

การพิมพ์อิงก์เจ็ตในขั้นตอนนี้ ใช้เครื่องพิมพ์เอปสันรุ่น C-60 ที่ใช้ตลับหมึกเปล่าของบริษัท MIS Associates, Inc. รุ่น ARC-T028-EC และพิมพ์แผนภูมิของสี (Colour chart) ที่ประกอบด้วยสีพื้นตายที่ระดับความสว่าง 10 ระดับ ลงบนวัสดุพิมพ์ชนิดต่างๆ ได้แก่

- กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัทแคนนอนรุ่น PR-101
- กระดาษเคลือบผิวชนิดด้านสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัทเอปสัน
- กระดาษรีไซเคิล
- แผ่นใสไม่เคลือบผิว
- แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ต
- กระดาษสา

จากนั้นนำสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ได้ดังกล่าว ทดสอบสมบัติหลังพิมพ์ต่างๆ ได้แก่ การทนขีดข่วน การทนทานต่อแสง และการต้านทานต่อน้ำ สูตรหมึกต่างๆที่ทดลองในขั้นตอนนี้มีดังต่อไปนี้

หมึกสูตรที่ 11 หมึกที่มีไซลปริมาณ 10% สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล (10%) 5.5%
 หมึกสูตรที่ 12 หมึกที่มีไซลปริมาณ 10% สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล (10%) 4%
 หมึกสูตรที่ 13 หมึกที่มีไซลปริมาณ 10% สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล (10%) 3%
 หมึกสูตรที่ 14 หมึกที่มีไซลปริมาณ 10% สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล (10%) 2%
 หมึกสูตรที่ 15 หมึกที่มีไซลปริมาณ 10% สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล (10%) 1%
 หมึกสูตรที่ 16 หมึกที่มีไซลปริมาณ 10% ไม่มีสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล
 หมึกสูตรที่ 17 หมึกที่มีไซลปริมาณ 15% ไม่มีสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล
 หมึกสูตรที่ 18 หมึกที่มีไซลปริมาณ 0% ไม่มีสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล
 องค์ประกอบของสูตรหมึกต่างๆที่ทดลองในขั้นตอนนี้มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.7 แสดงสูตรหมึกในขั้นตอนการพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีไซลเป็นส่วนประกอบ

หมึกสูตรที่	ปริมาณ (%)				
	ไซล*	สารละลายกรดไฮโดรคลอริก**	กลีเซอรอล***	อะเซทีลีนิก ไกลคอล†	สีย้อม††
11	10	63.5	18.0	5.5	3.0
12	10	65.0	18.0	4.0	3.0
13	10	66.0	18.0	3.0	3.0
14	10	67.0	18.0	2.0	3.0
15	10	68.0	18.0	1.0	3.0
16	10	69.0	18.0	-	3.0
17	15	64.0	18.0	-	3.0
18	0	79.0	18.0	-	3.0

หมายเหตุ * ไซลมีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O: HCl = 1: 12.38: 0.01

** สารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 1.6

*** ตัวทำละลาย

† สารลดแรงตึงผิว อะเซทีลีนิก ไกลคอล 10%

†† สีย้อม Acid blue 9

3.2.2.5 การทดสอบสมบัติของสิ่งพิมพ์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณโซลที่มีต่อสิ่งพิมพ์

ขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบสมบัติหลังพิมพ์ต่างๆ ได้แก่ การทนทานต่อขีดข่วน การทนทานต่อแสง และการทนทานต่อน้ำ กับสิ่งพิมพ์การเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เบอร์ 1 ลงบนวัสดุพิมพ์ชนิดต่างๆ โดยเตรียมหมึกสูตรต่างๆที่มีโซลอัตราส่วนโดยโมล TEOS:H₂O:HCl = 1: 12.38 : 0.01 เป็นปริมาณตั้งแต่ 0-70% และทดสอบสมบัติต่างๆดังกล่าวกับสิ่งพิมพ์ที่ใช้สูตรหมึกพิมพ์ที่สามารถพิมพ์ได้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบสั่นรุ่น C-60 และสิ่งพิมพ์สูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า (หมึกพิมพ์สูตรที่ 1) ซึ่งพิมพ์แถบสีที่ประกอบด้วยสีพื้นตายที่ระดับความสว่าง 10 ระดับเช่นเดียวกับการพิมพ์ในหัวข้อที่ 3.2.2.4

วัสดุพิมพ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่

- กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ทของบริษัทแคนนอนรุ่น PR-101
- กระดาษเคลือบผิวชนิดด้านสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ทของบริษัทเอปสัน
- กระดาษรีไซเคิล
- แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ท
- กระดาษสา

องค์ประกอบสูตรหมึกที่เตรียมสำหรับขั้นตอนนี้มีดังนี้

ตารางที่ 3.8 แสดงสูตรหมึกสำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณโซลที่มีต่อสิ่งพิมพ์

หมึก K-bar สูตรที่	ปริมาณ (%)				
	โซล*	สารละลายกรด ไฮโดรคลอริก**	กลีเซอรอล***	อะเซทีลีนิก ไกลคอล†	สีย่อย ††
1	0.0	79.0	18.0	-	3.0
2	10.0	69.0	18.0	-	3.0
3	20.0	59.0	18.0	-	3.0
4	30.0	49.0	18.0	-	3.0
5	40.0	39.0	18.0	-	3.0
6	50.0	29.0	18.0	-	3.0
7	60.0	19.0	18.0	-	3.0
8	70.0	9.0	18.0	-	3.0

หมายเหตุ * โซลมีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O: HCl = 1: 12.38: 0.01

- ** สารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 1.6
- *** ตัวทำละลาย
- † สารลดแรงตึงผิว อะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%
- †† สีย้อม Acid blue 9

3.2.2.5.1 การทดสอบการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์

สำหรับการทดสอบการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์ สามารถทำได้โดยฉายแสงลงบนสิ่งพิมพ์เป็นเวลา 20 และ 40 ชั่วโมงตามลำดับ ด้วยเครื่อง Xenon Weather meter ของ Suga test instrument, Inc. แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ หลอดซีนอน (Xenon lamp) ที่แสงมีกำลังต่อพื้นที่ 42 W/m^2 ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร อุณหภูมิ $63 \pm 3^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 5 \% \text{RH}$ โดยสิ่งพิมพ์ที่นำมาทดสอบได้แก่

- สิ่งพิมพ์ที่ใช้สูตรหมึกพิมพ์ที่สามารถพิมพ์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันรุ่น C-60
- สิ่งพิมพ์ที่ใช้สูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่สามารถพิมพ์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแคนนอนรุ่น BJ F850
- สิ่งพิมพ์ที่ใช้สูตรหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนกระดาษเคลือบผิวชนิดด้านสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ทของบริษัทเอปสัน

จากนั้นนำสิ่งพิมพ์ต่างๆดังกล่าวที่ผ่านการฉายแสง วัดค่าการสะท้อนแสงของสิ่งพิมพ์ วัดค่าสี CIE L*a*b* โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ของบริษัท X-Rite ที่มีสภาวะในการวัดได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง Daylight ที่อุณหภูมิสี 6500 K 10° observer (D65/10°) และรวมแสงสะท้อนกลับหมด (Specular component include, SPIN) และวัดค่าความดำโดยใช้เครื่องวัดความดำ (Spectrodensitometer) ของบริษัท X-Rite รุ่น 500 Series การทดสอบด้วยค่าการสะท้อนแสงของสิ่งพิมพ์ และ ค่าสี CIE L*a*b* มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การสะท้อนแสงของสิ่งพิมพ์ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งพิมพ์จากค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร ของสิ่งพิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง ฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และฉายแสงเป็นเวลา 40 ชั่วโมงตามลำดับ และเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของสิ่งพิมพ์ที่ไม่ได้ฉายแสง

- ค่าสี CIE L*a*b* ของสิ่งพิมพ์ วัดค่าสีของสิ่งพิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง ฉายแสง 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง พร้อมทั้งคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีได้แก่ ΔE_{ab}^* ของสีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง ความสัมพันธ์ของค่า ΔE_{ab}^*
- ค่าความดำของสิ่งพิมพ์ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงความดำของสิ่งพิมพ์ของสิ่งพิมพ์ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสง ฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และฉายแสงเป็นเวลา 40 ชั่วโมงตามลำดับ และแสดงความสัมพันธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความดำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง

3.2.2.5.2 การทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนของสิ่งพิมพ์

สำหรับการทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนของสิ่งพิมพ์ในขั้นตอนนี้ ใช้เทคนิคการตรวจสอบด้วยดินสอ (Pencil hardness testing) กับสิ่งพิมพ์ทั้งที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตและสิ่งพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เบอร์ 1 ในการทดสอบนี้ใช้ดินสอ staedtler ที่มีความแข็งตามเบอร์ได้แก่ F HB B 2B 3B 4B 5B 6B H 2H 3H 4H และ 5H โดยลำดับความแข็งของดินสอตามเบอร์สามารถแสดงได้ดังนี้

แข็งมากที่สุด	อ่อนมากที่สุด
6H 5H 4H 3H 2H H F HB B 2B 3B 4B 5B 6B	

รูปที่ 3.2 แสดงความแข็งของดินสอที่ใช้ทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนตามเบอร์

การตรวจสอบความการขีดข่วนสามารถทำได้โดยใช้ดินสอขีดลงบนสิ่งพิมพ์ยาว 0.5 นิ้ว ตามเบอร์ดินสอตั้งแต่ดินสอที่มีความอ่อนมากที่สุดไปจนถึงดินสอที่มีความแข็งมากที่สุด เมื่อขีดด้วยดินสอเบอร์ใดแล้วหมึกพิมพ์ที่ติดอยู่บนสิ่งพิมพ์หลุด ให้นำบันทึกผลเป็นค่าความแข็งของดินสอเบอร์ที่อ่อนกว่า 1 เบอร์

3.2.2.5.3 การทดสอบการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์

สำหรับการทดสอบการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์ในขั้นตอนนี้ เป็นการทดสอบด้วยวิธีการจุ่มน้ำกับสิ่งพิมพ์ทั้งที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตและสิ่งพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เบอร์ 1 การเตรียมตัวอย่างสามารถทำได้โดยตัดสิ่งพิมพ์เป็นวงกลมที่มีขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร และปิดด้านหลังและด้านข้างของสิ่งพิมพ์ด้วยสติ๊กเกอร์ และจุ่มลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 1 นาที เพื่อวิเคราะห์ผลโดยอาศัยข้อมูลสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการจุ่มน้ำ การวัดค่าสีได้แก่ การสะท้อนแสงและ CIE L*a*b* โคออดิเนต ให้วัดสีทั้งก่อนและหลังการจุ่มน้ำของสิ่งพิมพ์ พร้อมทั้งคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีได้แก่ ΔE_{ab}^* ของสีที่เปลี่ยนแปลงไปของสีหลังจากผ่านการจุ่มน้ำ



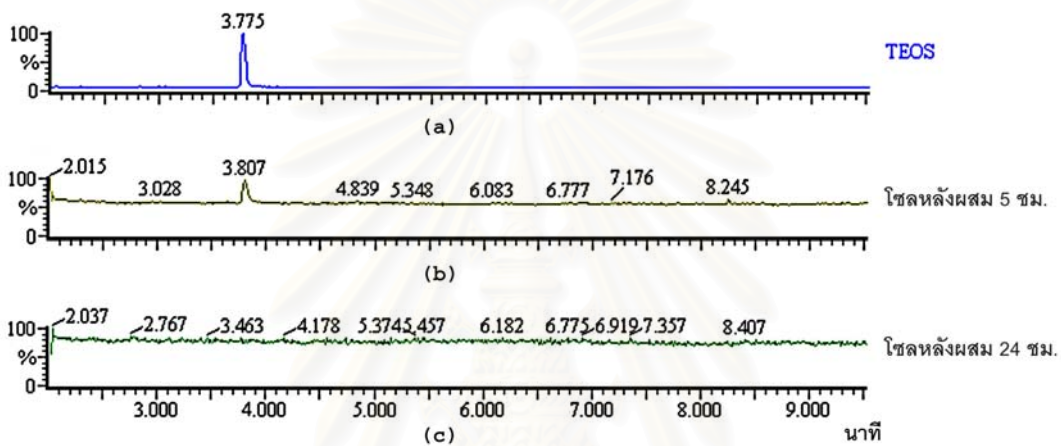
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมโซลและการทดสอบสมบัติของโซล

4.1.1 การวิเคราะห์โซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)



รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของ

(a) TEOS

(b) โซล (TEOS : HCl pH2 = 2:2 ml) เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชม.

(c) โซล (TEOS : HCl pH2 = 2:2 ml) เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชม.

จากโครมาโตแกรมของ TEOS ดังรูปที่ 4.1 (a) พบว่าพีคของ TEOS ปรากฏที่ตำแหน่งเวลาประมาณ 3.8 นาที การติดตามผลการถูกไฮโดรไลซ์ของ TEOS ในโซลพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชม. ยังพบพีคของ TEOS ที่เวลาประมาณ 3.8 นาทีแต่ความเข้มของพีคที่ลดลงดังรูปที่ 4.1 (b) และ TEOS ในโซลเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ในเวลา 24 ชม. เนื่องจากไม่พบพีคที่ตำแหน่งเวลาประมาณ 3.8 นาที ดังรูปที่ 4.1 (c)

4.1.2 การทดสอบสมบัติของโซลและวิเคราะห์เพื่อหาโซลที่เหมาะสมสำหรับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณเจลแห้ง ของโซลชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 5

ชุดที่	TEOS: H ₂ O: HCl (อัตราส่วนโดยโมล)	ปริมาณเจลแห้ง (%โดยน้ำหนัก)
1	1: 2.48: 0.01	28.08
2	1: 4.95: 0.01	23.26
3	1: 7.43: 0.01	20.88
4	1: 9.90: 0.01	18.23
5	1: 12.38: 0.01	16.35

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ปริมาณเจลแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์โซลตั้งแต่ชุดที่ 1 ถึง ชุดที่ 5 ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของน้ำต่อ TEOS ต่างๆกัน (อัตราส่วนโดยโมลของกรดไฮโดรคลอริกที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าคงที่) ได้แก่ 2.48 4.95 7.43 9.90 และ 12.38 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำต่อ TEOS เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ปริมาณเจลแห้งมีค่าลดลง ปริมาณเจลแห้งที่ได้จาก TEOS ในอัตราส่วนต่างๆดังแสดงในตารางนี้ จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้โซลเพื่อผสมในสูตรหมึกพิมพ์

หลังจากศึกษาปริมาณเจลแห้งของโซลชุดต่างๆแล้ว เมื่อพบว่าโซลชุดที่ 5 มีความเหมาะสมต่อการเริ่มต้นนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท เนื่องจากโซลชุดที่ 5 มีปริมาณ TEOS ไม่มากจนเกินไปและมีค่าความหนืดเหมาะสมสำหรับการเตรียมหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท ให้มีความหนืดต่ำ ค่าความหนืดของโซลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 ที่อัตราเงื่อนไขต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

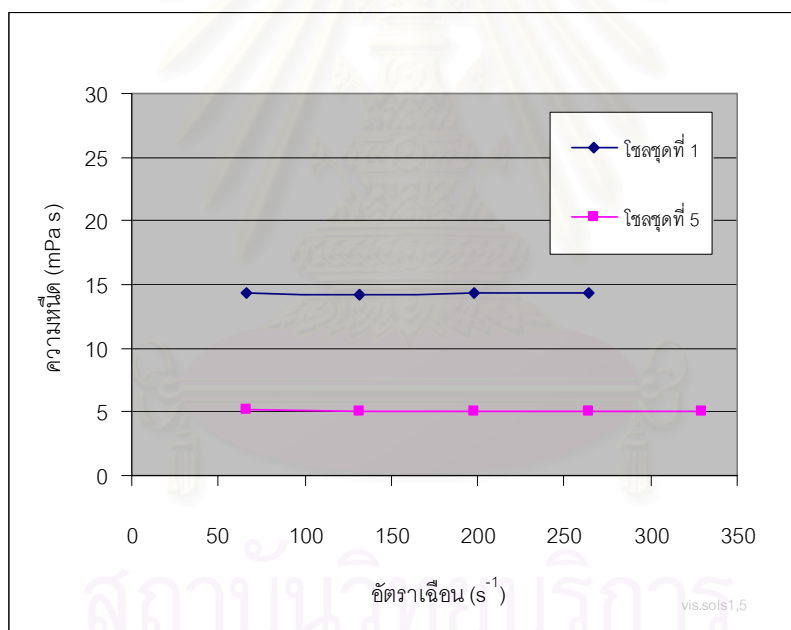
ตารางที่ 4.2 แสดงความหนืดของโซลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 ที่อัตราเฉือนตั้งแต่ 66.0 ถึง 330.0 s^{-1} ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}C$

อัตราเฉือน (s^{-1})	ความหนืดของโซล (mPa s) ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}C$	
	โซลชุดที่ 1*	โซลชุดที่ 5**
66.0	14.3	5.16
132.0	14.2	5.04
198.0	14.3	4.98
264.0	14.4	5.01
330.0	***	5.05

หมายเหตุ * โซลชุดที่ 1 มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H_2O : HCl = 1: 2.48: 0.01

** โซลชุดที่ 5 มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H_2O : HCl = 1: 12.38: 0.01

*** ความหนืดมีค่าสูง ไม่สามารถวัดได้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความหนืดของโซลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 ที่อัตราเฉือนตั้งแต่ 66.0 ถึง 330.0 s^{-1} ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}C$

จากตารางที่ 4.2 และกราฟที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดของโซลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อค่าอัตราเฉือนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปใช้กับการพิมพ์อิงก์เจ็ต ในกรณีที่มีการผลึกหมึกด้วยการสั่นของหัวพิมพ์ที่มีความถี่สูงขึ้น และแนวโน้มที่ค่าความหนืดของโซลจะมีเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของน้ำต่อ TEOS มีค่าลดลง นอกจากนี้ค่าความหนืดของโซลชุดที่ 5 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 4.98 ถึง 5.16 mPa s ซึ่งเหมาะสมแก่การนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต

4.2 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเมื่อมีโซลเป็นส่วนประกอบ

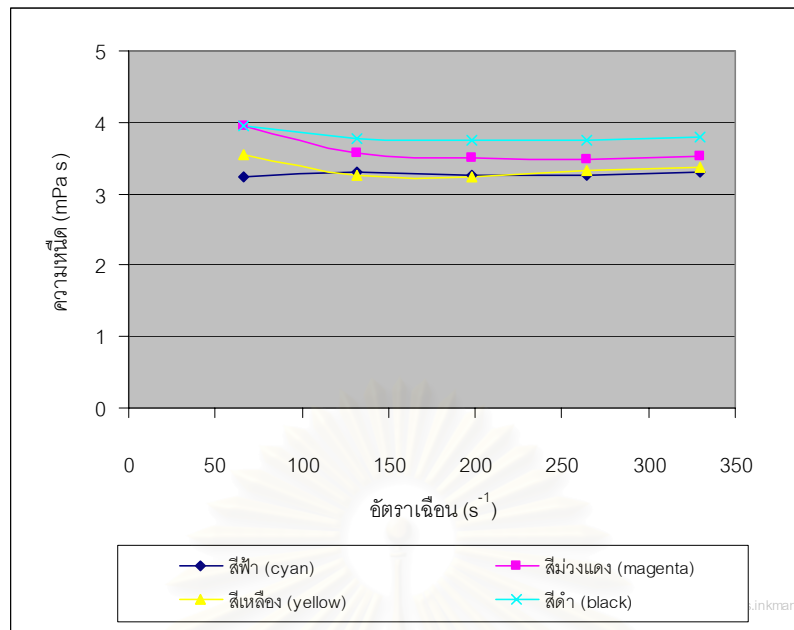
4.2.1 การทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าระบบเปียกที่ใช้ในปัจจุบัน

การทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าระบบเปียกที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความหนืด ค่าแรงตึงผิว และค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันรุ่น C-60 เพื่อใช้เป็นแนวทางเพื่อปรับให้หมึกที่ผลิตได้มีสมบัติใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์ในเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันรุ่น C-60 ที่มีกลไกการผลึกหมึกด้วยระบบเปียก โดยในการทดลองนี้ได้ทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัท Inkman ชนิดเติม สมบัติต่างๆที่ทำการทดสอบได้แก่ ความหนืดของหมึกพิมพ์ แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ และค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 ถึง 4.7 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนืดของหมึกพิมพ์ชนิดเติมที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันของบริษัท

Inkman ที่อัตราเฉือนตั้งแต่ 66.0 ถึง 330.0 s^{-1} ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}C$

อัตราเฉือน (s^{-1})	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (mPa s) ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}C$			
	สีฟ้า (cyan)	สีม่วงแดง (magenta)	สีเหลือง (yellow)	สีดำ (black)
66.0	3.24	3.96	3.54	3.96
132.0	3.30	3.57	3.27	3.78
198.0	3.26	3.50	3.24	3.74
264.0	3.27	3.49	3.33	3.75
330.0	3.30	3.53	3.37	3.79



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความหนืดของหมึกพิมพ์ชนิดเติมที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันของบริษัท Inkman

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ พบว่าค่าความหนืดของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าสีฟ้า สีม่วงแดง สีเหลือง และสีดำของบริษัท Inkman มีค่าอยู่ในช่วง 3.24 ถึง 3.96 mPa s และค่าความหนืดของแต่ละสีมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สีต่างๆมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อค่าอัตราเฉือนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันของบริษัท Inkman

หมึกพิมพ์	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)	ค่าความเป็นกรดเบส
สีฟ้า (cyan)	34.16	pH 7.43
สีม่วงแดง (magenta)	34.75	pH 8.40
สีเหลือง (yellow)	35.38	pH 8.13
สีดำ (black)	33.98	pH 8.50

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าทั้ง 4 สีของบริษัท Inkman ที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ Epson มีค่าแรงตึงผิวอยู่ในช่วง 33.98 ถึง 34.75 mN/m และมีค่าความเป็นกรดเบสอยู่ในช่วง pH 7.43 ถึง pH 8.50

4.2.2 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเบื้องต้น เพื่อทดสอบการทนทานต่อน้ำ และความแข็งของชั้นฟิล์ม

ขั้นตอนนี้เป็น การเตรียมหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเบื้องต้นเพื่อสังเกตลักษณะการแห้งตัวของหมึกพิมพ์การทนทานต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์ม โดยการเคลือบผิวด้วยชุดลวด K-bar ลงบนกระดาษจาสไนด์ และพ่นด้วยแอร์บรัช สูตรหมึกที่เตรียมในขั้นตอนนี้มีดังต่อไปนี้

- หมึกสูตรที่ 1 หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้า
- หมึกสูตรที่ 2 หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าที่ใช้ไซลแทนน้ำในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์
- หมึกสูตรที่ 3 หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าที่ใช้ไซลแทนน้ำในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ และลดปริมาณสีย้อมลง
- หมึกสูตรที่ 4 ไซลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้ไซล TEOS: H₂O:HCl = 1: 2.48 : 0.01
- หมึกสูตรที่ 5 ไซลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้ไซล TEOS: H₂O:HCl = 1: 12.38 : 0.01

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการแห้งตัว การทนทานต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่เคลือบบนกระดาษจาสไนด์ด้วยชุดลวด K-bar

สูตรหมึก	ผลการทดสอบ
หมึกสูตรที่ 1	หมึกพิมพ์ไม่แห้งตัว
หมึกสูตรที่ 2	หมึกพิมพ์ไม่แห้งตัว เมื่อแตะด้วยมือมีสีติดขึ้นมา (เมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง)
หมึกสูตรที่ 3	หมึกพิมพ์ไม่แห้งตัว เมื่อแตะด้วยมือมีสีติดขึ้นมา (เมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง)
หมึกสูตรที่ 4	หมึกแห้งเป็นฟิล์มแข็งบนกระดาษ (เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง) เมื่อลูบด้วยสำลีชุบน้ำขึ้น 1 ครั้ง มีสีติดขึ้นมาเล็กน้อย ฟิล์มมีความแข็ง >5H
หมึกสูตรที่ 5	หมึกแห้งเป็นฟิล์มแข็งบนกระดาษ (เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 3 ชั่วโมง) เมื่อลูบด้วยสำลีชุบน้ำขึ้น 1 ครั้ง มีสีติดขึ้นมาเล็กน้อย ฟิล์มมีความแข็ง >5H

จากผลของการใช้ชุดลวด K-bar เคลือบหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษจาสไนด์ ดังตารางที่ 4.5 พบว่าหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าไม่แห้งตัวเมื่อเคลือบบนกระดาษถึงแม้ว่าจะใช้ไซลเป็นส่วนประกอบแทนน้ำ ซึ่งแตกต่างจากหมึกพิมพ์ที่มีไซลเป็นส่วนประกอบของคณะผู้วิจัยซึ่งแห้งตัว

เป็นชั้นฟิล์มบนกระจก ซึ่งมีการแห้งตัวได้ดีเมื่อมีปริมาณโซลในสูตรหมึกมากขึ้น และพบว่าชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่เคลือบบนกระจกมีความแข็งของชั้นฟิล์มต่ำ และเมื่อทดสอบการทนทานต่อน้ำในเบื้องต้นด้วยวิธีการเช็ดด้วยสำลีชุบน้ำกับกระจกที่เคลือบผิวพบว่าหมึกสูตรที่ 4 และหมึกสูตรที่ 5 มีสีติดขึ้นมาเล็กน้อย เมื่อใช้สำลีชุบน้ำถูชั้น 1 ครั้ง

หลังจากทดสอบผลการเคลือบผิวกับกระจกสไลด์ด้วยการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar แล้ว จึงได้นำหมึกพิมพ์สูตรที่ 1 หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 และหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 มาทดสอบกับพื้นผิวชนิดอื่น ๆ ด้วยการพ่นหมึกพิมพ์ด้วยแอร์บรัชลงบนพื้นผิว ได้แก่ กระจกเคลือบผิวชนิดมันวาว กระจกเคลือบผิวชนิดด้าน และแผ่นใสไม่เคลือบผิว เนื่องจากหมึกสูตรที่ 4 และหมึกสูตรที่ 5 มีแนวโน้มต่อการทนทานต่อน้ำที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับหมึกสูตรที่ 1 ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

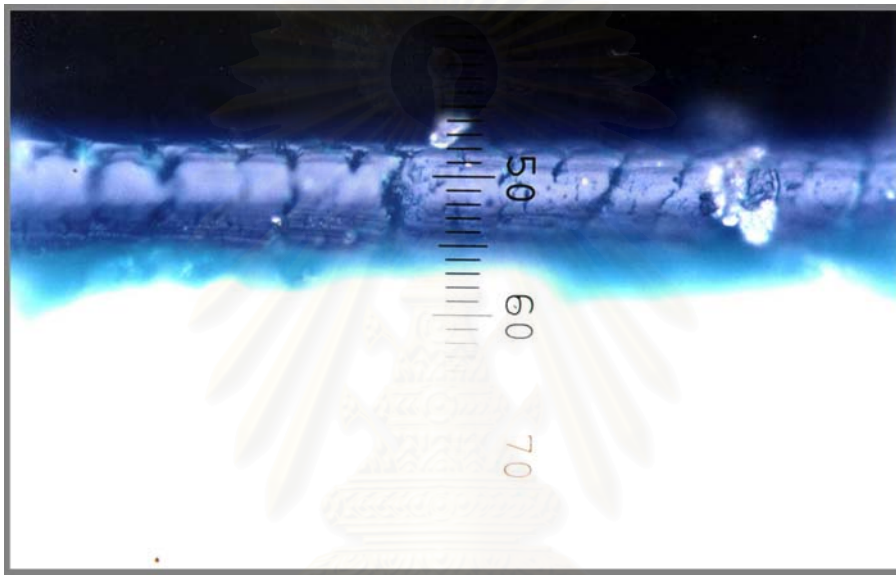
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการทนทานต่อน้ำและความแข็งของชั้นฟิล์มที่พ่นด้วยแอร์บรัชลงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ

วัสดุพิมพ์	ผลของการพ่นหมึกด้วยแอร์บรัชลงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ		
	หมึกสูตรที่ 1	หมึกสูตรที่ 4	หมึกสูตรที่ 5
กระจกเคลือบผิวชนิดมันวาว	ไม่ทนทานน้ำ ไม่มีการงอตัวของกระจก	มีการงอตัวของกระจกเล็กน้อย ผิวหน้ามีลักษณะด้าน ลูบด้วยสำลีชุบน้ำไม่มีสีติดขึ้นมา	มีการงอตัวของกระจกเล็กน้อย ผิวหน้ามีลักษณะด้าน ลูบด้วยสำลีชุบน้ำมีสีติดขึ้นมาเล็กน้อย
กระจกเคลือบผิวชนิดด้าน	ไม่ทนทานน้ำ ไม่มีการงอตัวของกระจก	มีการงอตัวของกระจกมาก ลูบด้วยสำลีชุบน้ำมีสีติดขึ้นมาเล็กน้อย	มีการงอตัวของกระจกมาก ผิวหน้ามีลักษณะด้าน ลูบด้วยสำลีชุบน้ำมีสีติดขึ้นมา
แผ่นใสไม่เคลือบผิว	ไม่แห้งตัว	แห้งตัวมีลักษณะเป็นละออง สามารถหลุดได้ง่าย	แห้งตัวมีลักษณะเป็นละออง สามารถหลุดได้ง่าย

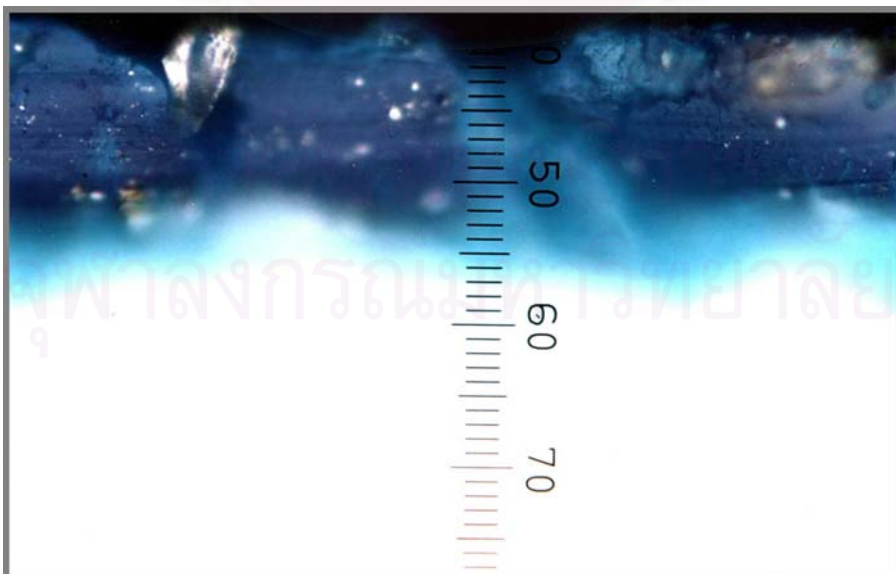
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าปริมาณหมึกสูตรที่ 4 (ใช้โซลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O:HCl = 1: 2.48 : 0.01) ซึ่งมีปริมาณ TEOS มากกว่าหมึกสูตรที่ 5 (ใช้โซลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O:HCl = 1: 12.38 : 0.01) มีแนวโน้มของการทนทานต่อน้ำได้ดีกว่า ในขณะที่หมึกสูตรที่ 1 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าไม่ทนทานต่อน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้

โซลเป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์มีผลทำให้กระดาษพิมพ์งอตัว ทั้งนี้เนื่องจากการซึมของน้ำที่อยู่ในสูตรหมึกจากการพ่นหมึกด้วยแอร์บรัชทั่วทั้งแผ่น และเนื่องจากการหดตัวของเจลเมื่อหมึกพิมพ์แห้งตัว อย่างไรก็ตาม หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตที่มีโซลเป็นส่วนประกอบได้แก่ หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 และหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 สามารถแห้งตัวได้บนผิวของวัสดุพิมพ์อื่นที่ไม่ใช่กระดาษเช่น แผ่นใสไม่เคลือบผิว ในขณะที่หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตทางการค้า (หมึกสูตรที่ 1) ไม่แห้งตัว

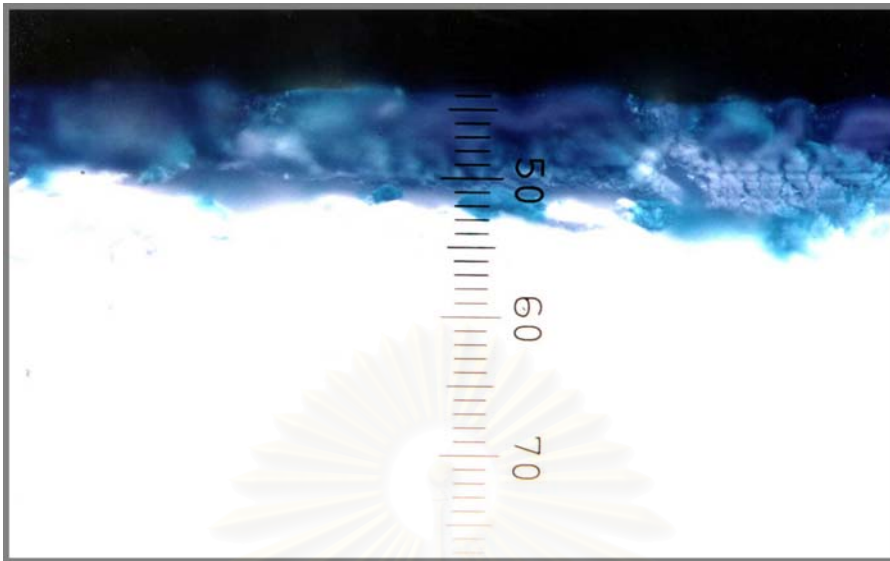
สำหรับการซึมของหมึกพิมพ์ที่ถูกพ่นด้วยแอร์บรัช สามารถแสดงได้ดังภาพถ่ายภาพตัดขวางดังนี้



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายตัดขวางกำลังขยาย 50 เท่าของกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวที่แสดงการซึมของหมึกสูตรที่ 1 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตทางการค้า (1 สเกล = 0.0038 มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายตัดขวางกำลังขยาย 50 เท่าของกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวที่แสดงการซึมของหมึกสูตรที่ 4 โซลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้โซลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O:HCl = 1: 2.48 : 0.01 (1 สเกล = 0.0038 มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6 ภาพตัดขวางกำลังขยาย 50 เท่าของกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวที่แสดงการซึมของหมึกสูตรที่ 5 ไชลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้ไชลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O:HCl = 1: 12.38 : 0.01 (1 สเกล = 0.0038 มิลลิเมตร)

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 เมื่อสังเกตการซึมของหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวได้แก่ หมึกสูตรที่ 1 (หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า) หมึกสูตรที่ 4 (ไชลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้ไชลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O:HCl = 1: 2.48 : 0.01) และหมึกสูตรที่ 5 (ไชลต่อสารละลายสีย้อม 1:1 ใช้ไชลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS: H₂O:HCl = 1: 12.38 : 0.01) พบว่าหมึกพิมพ์ที่มีไชลเป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์สามารถซึมผ่านลงไปในพื้นที่ของสารเคลือบบนกระดาษได้เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่ไม่มีไชลเป็นส่วนประกอบ โดยหมึกพิมพ์สูตรที่ 1 สามารถซึมผ่านลงไปเป็นระยะทางประมาณ 0.038 มิลลิเมตร หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 สามารถซึมผ่านลงไปเป็นระยะทางประมาณ 0.053 มิลลิเมตร และหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 สามารถซึมผ่านลงไปเป็นระยะทางประมาณ 0.042 มิลลิเมตร

4.2.3 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเมื่อมีไชลเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก

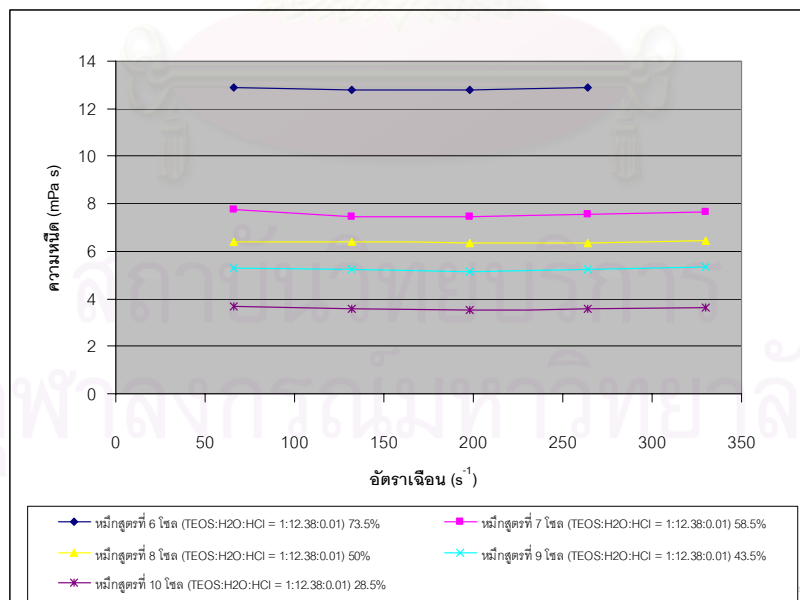
ขั้นตอนนี้ได้เตรียมสูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่ใช้ไชลเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณไชลที่มีต่อความหนืด แรงตึงผิว และการส่องผ่านของแสงของสูตรหมึก และนำหมึกในองค์ประกอบต่างๆดังกล่าว เคลือบผิวด้วยชุดลวด K-bar ลงบนวัสดุพิมพ์ ได้แก่ แผ่นใสไม่เคลือบผิว และกระดาษสไลด์ จากนั้นรายงานผลถึงลักษณะ

ของฟิล์มบนวัสดุพิมพ์ดังกล่าวที่แห้งตัวตามธรรมชาติ ผลของความหนืดของสูตรหมึกที่มีไซลีนในปริมาณต่างๆมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีไซลีนเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึก

หมึกพิมพ์	ความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่อัตราเฉือนต่างๆ (mPa s) อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$				
	66.0 s^{-1}	132.0 s^{-1}	198.0 s^{-1}	264.0 s^{-1}	330.0 s^{-1}
สูตรที่ 6 (ไซลีน 73.5%)	12.9	12.8	12.8	12.9	-*
สูตรที่ 7 (ไซลีน 58.5%)	7.74	7.47	7.44	7.57	7.67
สูตรที่ 8 (ไซลีน 50.0%)	6.42	6.42	6.34	6.37	6.43
สูตรที่ 9 (ไซลีน 43.5%)	5.28	5.22	5.16	5.25	5.34
สูตรที่ 10 (ไซลีน 28.5%)	3.66	3.57	3.54	3.58	3.64

หมายเหตุ * ความหนืดมีค่าสูง ไม่สามารถวัดได้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีไซลีนเป็นส่วนประกอบเพื่อเตรียมบรรจุลงตลับหมึกสูตรต่างๆ

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณโซลในสูตรหมึกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้สูตรหมึกมีความหนืดสูงขึ้น และค่าความหนืดมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า หมึกสูตรที่ 6 ที่มีปริมาณโซลในสูตรหมึก 73.5% ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเนื่องจากมีค่าความหนืดที่สูงมาก

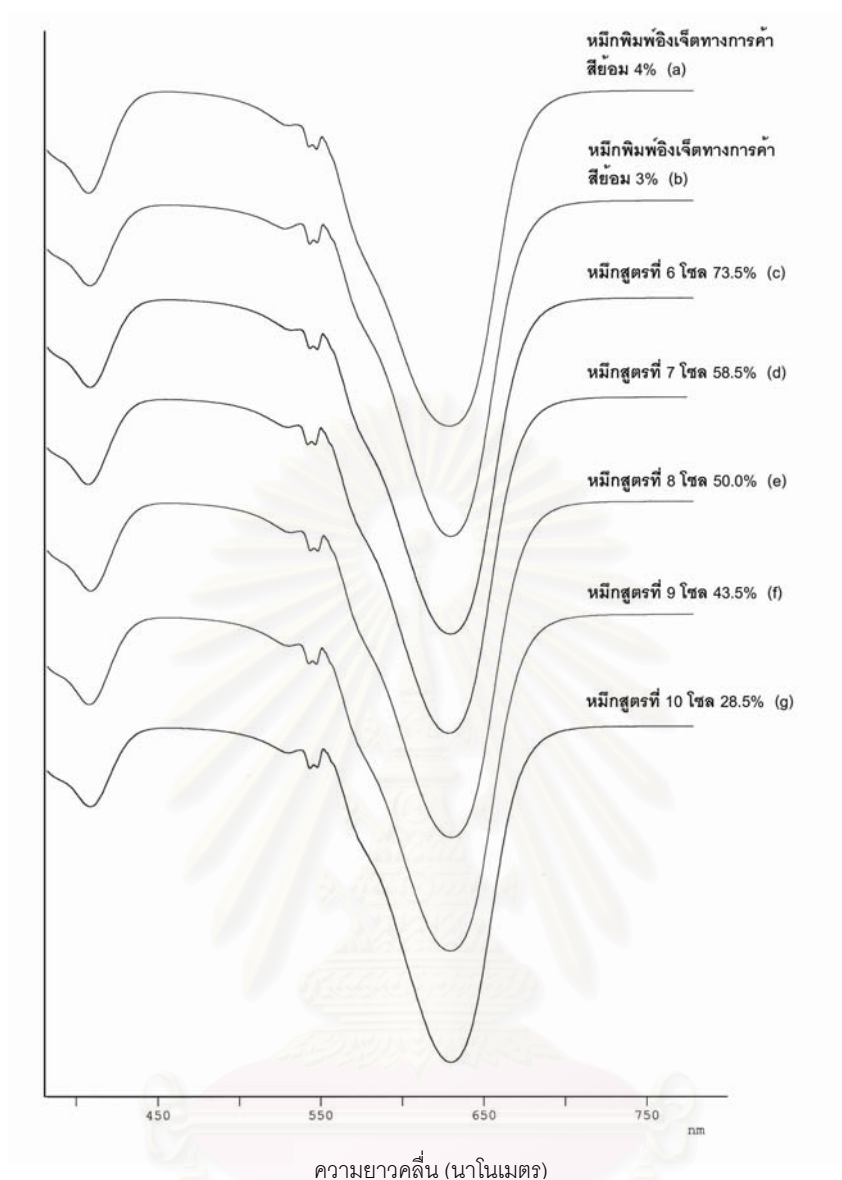
จากการสังเกตลักษณะของสารเคลือบที่ได้จากหมึกพิมพ์ที่มีโซลในปริมาณต่างๆ สามารถแสดงผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนแผ่นใสไม่เคลือบผิวและกระจกสไลด์ที่มีการแห้งตัวตามธรรมชาติ

วัสดุพิมพ์	ระยะเวลาในการแห้งตัว	ลักษณะ
หมึกสูตรที่ 6 (โซล 73.5%)		
แผ่นใสไม่เคลือบผิว	ประมาณ 1 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือบนผิวหน้าไม่มีสีติดขึ้นมา
กระจกสไลด์	ประมาณ 1 วัน	ฟิล์มแตกเป็นเกล็ด
หมึกสูตรที่ 7 (โซล 58.5%)		
แผ่นใสไม่เคลือบผิว	ประมาณ 1 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือบนผิวหน้าไม่มีสีติดขึ้นมา การยึดติดดีกว่า หมึกสูตรที่ 6
กระจกสไลด์	ประมาณ 1 วัน	ฟิล์มแตกเป็นเกล็ด
หมึกสูตรที่ 8 (โซล 50.0%)		
แผ่นใสไม่เคลือบผิว	ประมาณ 1 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือบนผิวหน้าไม่มีสีติดขึ้นมา การยึดติดดีกว่า หมึกสูตรที่ 6
กระจกสไลด์	ประมาณ 1 วัน	ฟิล์มแตกเป็นเกล็ด
หมึกสูตรที่ 9 (โซล 43.5%)		
แผ่นใสไม่เคลือบผิว	ประมาณ 5 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือแล้วยังมีสีติดขึ้นมา
กระจกสไลด์	ประมาณ 5 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือแล้วยังมีสีติดขึ้นมา
หมึกสูตรที่ 10 (โซล 28.5%)		
แผ่นใสไม่เคลือบผิว	ประมาณ 5 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือแล้วยังมีสีติดขึ้นมา
กระจกสไลด์	ประมาณ 5 วัน	ลูบด้วยนิ้วมือแล้วยังมีสีติดขึ้นมา

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า หมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบในหมึกสูตรที่ 6 ถึง 10 พบว่าโซลที่เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ที่มีปริมาณน้อยลง ส่งผลต่อการแห้งตัวที่ช้า

สำหรับการศึกษาการส่องผ่านแสงของหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นองค์ประกอบในปริมาณต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 กราฟการส่องผ่านของแสงของหมึกพิมพ์ในช่วงความยาวคลื่น 380-780 นาโนเมตร

- (a) การส่องผ่านของแสงของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่มีสีข้อมปริมาณ 4%
- (b) การส่องผ่านของแสงของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่มีสีข้อมปริมาณ 3%
- (c) การส่องผ่านของแสงของหมึกสูตรที่ 6 ที่มีปริมาณโซลในสูตรหมึก 73.5%
- (d) การส่องผ่านของแสงของหมึกสูตรที่ 7 ที่มีปริมาณโซลในสูตรหมึก 58.5%
- (e) การส่องผ่านของแสงของหมึกสูตรที่ 8 ที่มีปริมาณโซลในสูตรหมึก 50.0%
- (f) การส่องผ่านของแสงของหมึกสูตรที่ 9 ที่มีปริมาณโซลในสูตรหมึก 43.5%
- (g) การส่องผ่านของแสงของหมึกสูตรที่ 10 ที่มีปริมาณโซลในสูตรหมึก 28.5%

จากรูปที่ 4.8 ที่แสดงกราฟการส่องผ่านของหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ และหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่ใช้สีข้อมชนิดเดียวกัน โดยแกนตั้งของกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง และแกนนอนแสดงความยาวคลื่นของแสงที่ส่องผ่าน จากรูปที่ 4.8 นี้

แนวแกนตั้งแสดงให้เห็นว่า โซิลที่เป็นส่วนประกอบในปริมาณต่างๆของสูตรหมึก ไม่มีผลต่อการส่องผ่านของแสงกับหมึกพิมพ์ และเมื่อเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่มีสีย้อม 3% และ 4% การส่องผ่านของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆให้ผลไม่แตกต่างกัน

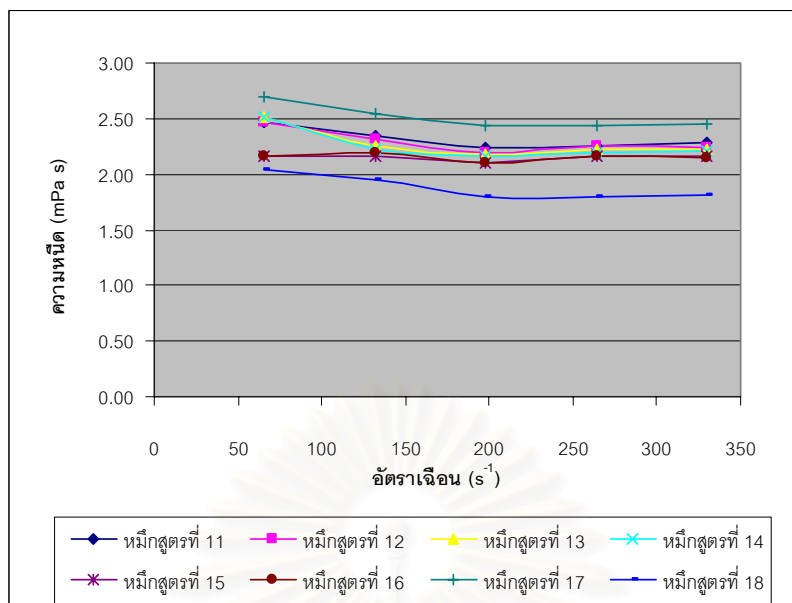
4.2.4 การพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีซิลเป็นส่วนประกอบ

การเตรียมหมึกสำหรับการพิมพ์อิงค์เจ็ท ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการใช้ซิลในปริมาณน้อย โดยใช้ซิลที่มีอัตราส่วนโดยโมล TEOS:H₂O:HCl = 1:12.38:0.01 เป็นปริมาณตั้งแต่ 10% และเพิ่มปริมาณซิลขึ้นทีละ 5% ของสูตรหมึก พร้อมทั้งปรับเปลี่ยนปริมาณสารลดแรงตึงผิวได้แก่ อะเซทิลีนิก ไกลคอล ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการหัวพิมพ์ที่ใช้ เพื่อให้สามารถพิมพ์ผ่านหัวพิมพ์ได้ รายละเอียดของความหนืดและแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ที่เตรียมในขั้นตอนนี้มีดังนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรต่างๆที่มีซิลเป็นส่วนประกอบที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงค์เจ็ท

หมึกพิมพ์	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (mPa s) ที่อัตราเฉือนต่างๆ อุณหภูมิ 25 ± 0.1°C				
	66.0 s ⁻¹	132.0 s ⁻¹	198.0 s ⁻¹	264.0 s ⁻¹	330.0 s ⁻¹
สูตรที่ 11 (ซิล 10% AcG*5.5%)	2.46	2.34	2.24	2.25	2.28
สูตรที่ 12 (ซิล 10% AcG 4%)	2.46	2.31	2.20	2.25	2.24
สูตรที่ 13 (ซิล 10% AcG 3%)	2.52	2.25	2.18	2.22	2.23
สูตรที่ 14 (ซิล 10% AcG 2%)	2.52	2.22	2.16	2.20	2.21
สูตรที่ 15 (ซิล 10% AcG 1%)	2.16	2.16	2.10	2.16	2.16
สูตรที่ 16 (ซิล 10% AcG 0%)	2.16	2.19	2.10	2.17	2.15
สูตรที่ 17 (ซิล 15% AcG 0%)	2.70	2.55	2.44	2.44	2.45
สูตรที่ 18 (ซิล 0% AcG 0%)	2.04	1.95	1.80	1.80	1.81

หมายเหตุ *AcG คือ สารละลายอะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 11 ถึง 18 ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต

หมึกพิมพ์	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)	ค่าความเป็นกรดเบส
สูตรที่ 11 (โซล 10% AcG*5.5%)	32.53	1.92
สูตรที่ 12 (โซล 10% AcG 4%)	33.70	1.88
สูตรที่ 13 (โซล 10% AcG 3%)	34.65	1.86
สูตรที่ 14 (โซล 10% AcG 2%)	35.73	1.89
สูตรที่ 15 (โซล 10% AcG 1%)	37.31	1.87
สูตรที่ 16 (โซล 10% AcG 0%)	53.50	1.84
สูตรที่ 17 (โซล 15% AcG 0%)	50.90	1.90
สูตรที่ 18 (โซล 0% AcG 0%)	58.14	1.89

หมายเหตุ *AcG คือ สารละลายอะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 ที่แสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 11 ถึง 18 ที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ตและตารางที่ 4.10 ที่แสดงค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 11 ถึง 18 ที่เตรียมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต โดยค่าความเป็นกรดเบสนี้เป็นข้อมูลที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากโซลที่เตรียมสำหรับเป็นส่วนประกอบในสูตรหมึกจำเป็นต้องใช้ความเป็นกรดเพื่อรักษาสภาพของโซลให้เป็นของเหลวก่อนการพิมพ์ ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้เป็นข้อมูลที่น่ามาให้เลือกหมึกพิมพ์เพื่อพิมพ์กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันรุ่น C-60 ที่ใช้ตลับหมึกเปล่าของบริษัท MIS Associates, Inc. รุ่น ARC-T028-EC

ตารางที่ 4.11 แสดงการพิมพ์ได้ของสูตรหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบที่เลือกใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันรุ่น C-60

หมึกพิมพ์	การพิมพ์ได้
สูตรที่ 13 (โซล 10% AcG* 3%)	พิมพ์ไม่ได้
สูตรที่ 14 (โซล 10% AcG 2%)	พิมพ์ไม่ได้
สูตรที่ 16 (โซล 10% AcG 0%)	พิมพ์ได้
สูตรที่ 17 (โซล 15% AcG 0%)	พิมพ์ได้
สูตรที่ 18 (โซล 0% AcG 0%)	พิมพ์ไม่ได้

หมายเหตุ *AcG คือ สารละลายอะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%

หลังจากนั้นได้เลือกหมึกพิมพ์สูตรที่ 13 และ 14 ที่มีค่าแรงตึงผิวและค่าความหนืดใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตทางการค้าที่ใช้กับเครื่องพิมพ์รุ่นนี้มาทดสอบสภาพการพิมพ์ได้เมื่อไม่สามารถพิมพ์ได้จึงปรับแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์โดยลดปริมาณสารละลายอะเซทิลีนิก ไกลคอล พบว่าเมื่อปรับแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ให้อยู่ในช่วง 50.9 ถึง 53.5 mN/m หมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบจึงเหมาะสำหรับเครื่องพิมพ์เอปสันรุ่น C-60 ดังแสดงผลในตารางที่ 4.11

สำหรับหมึกพิมพ์สูตรที่ 13 ที่มีโซลปริมาณ 10% และสารละลายอะเซทิลีนิก ไกลคอล (10%) ในปริมาณ 3% ถูกนำมาใช้เนื่องจาก โซลที่ใช้มีปริมาณน้อยสำหรับการพิมพ์เบื้องต้น โดยความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าอยู่ในช่วง 2.18 ถึง 2.52 mPa s และแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์มีค่า 34.65 mN/m ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์ชนิดเดิมที่ใช้กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันของบริษัท Inkman ที่แสดงในหัวข้อที่ 4.2.1 แต่เมื่อพิมพ์พบว่า เกิดหยดหมึกขนาดใหญ่บนวัสดุพิมพ์

ที่บริเวณต้นทางของการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ คาดว่ามีสาเหตุมาจากแรงดึงผิวของหมึกพิมพ์มีค่าไม่เหมาะสม ทำให้หยดหมึกท่วมอยู่บริเวณหัวพิมพ์ ไม่สามารถผลักหมึกลงบนวัสดุพิมพ์ได้ทันที จึงทำให้มีหยดหมึกขนาดใหญ่บนวัสดุพิมพ์

สำหรับหมึกพิมพ์สูตรที่ 14 ที่มีโซลปริมาณ 10% และสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล (10%) ในปริมาณ 2% ถูกนำมาใช้เนื่องจาก หมึกพิมพ์สูตร นี้ใช้ปริมาณสารลดแรงดึงผิว (สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล 10%) ในปริมาณน้อยกว่าหมึกพิมพ์สูตรที่ 13 คาดว่าการลดปริมาณสารลดแรงดึงผิวจะทำให้หมึกพิมพ์สามารถพิมพ์ได้ โดยความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าอยู่ในช่วง 2.16 ถึง 2.52 mPa s และแรงดึงผิวของหมึกพิมพ์มีค่า 35.73 mN/m แต่เมื่อพิมพ์พบว่า ให้ผลเหมือนกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สูตรที่ 13

หลังจากการพิมพ์กับหมึกพิมพ์สูตรที่ 14 แล้ว จึงเลือกหมึกพิมพ์สูตรที่ 16 ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบปริมาณ 10% ไม่มีสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล มาทำการพิมพ์เนื่องจาก คิดว่าค่าแรงดึงผิวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 14 มีค่าน้อยเกินไป ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับเครื่องพิมพ์ โดยค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 16 มีค่าอยู่ในช่วง 2.10 ถึง 2.19 mPa s ค่าแรงดึงผิวมีค่า 53.50 mN/m และค่าความเป็นกรดเบสมีค่า 1.84 ผลของการพิมพ์กับหมึกพิมพ์สูตรนี้พบว่า สามารถพิมพ์ได้

เมื่อสามารถทำการพิมพ์กับหมึกสูตรที่ 16 ได้แล้ว จึงปรับปริมาณโซลที่เป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้นเป็น 15% ได้แก่ หมึกพิมพ์สูตรที่ 17 หมึกที่มีโซลปริมาณ 15% ไม่มีสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล โดยค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 17 มีค่าอยู่ในช่วง 2.44 ถึง 2.70 mPa s ค่าแรงดึงผิวมีค่า 50.90 mN/m และค่าความเป็นกรดเบสมีค่า 1.90 ผลของการพิมพ์กับหมึกพิมพ์สูตรนี้พบว่า สามารถพิมพ์ได้เหมือนกับพิมพ์กับหมึกพิมพ์สูตรที่ 16

หลังจากนั้นจึงลองพิมพ์กับหมึกสูตรที่ 18 หมึกที่มีโซลปริมาณ 0% ไม่มีสารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับพิมพ์โดยใช้หมึกที่มีโซล ผลของการพิมพ์กับหมึกพิมพ์สูตรนี้พบว่า ไม่สามารถพิมพ์ได้

จากการพิมพ์กับหมึกพิมพ์สูตรที่ 13 ถึง 18 ดังกล่าว พบว่าหมึกพิมพ์ที่สามารถพิมพ์ได้กับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเอปสันรุ่น C-60 ได้แก่ หมึกพิมพ์สูตรที่ 16 และหมึกพิมพ์สูตรที่ 17 โดยหมึกพิมพ์ทั้งสองสูตรไม่มีสารลดแรงดึงผิวเป็นส่วนประกอบ มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 2.10 ถึง 2.70 mPa s และมีค่าแรงดึงผิว 50.90 mN/m และ 53.50 mN/m ตามลำดับ โดยค่า

ความเป็นกรดเบสไม่มีผลต่อการพิมพ์ได้ของหมึกพิมพ์ สิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ได้โดยใช้หมึกพิมพ์ทั้งสอง สูตรนี้ จะนำไปทดสอบการทนทานต่อแสง การทนทานต่อการขีดข่วน และการทนทานต่อน้ำของ สิ่งพิมพ์ในขั้นตอนต่อไป (หัวข้อที่ 4.2.5)

4.2.5 การทดสอบสมบัติของสิ่งพิมพ์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณโซลที่มี ต่อสิ่งพิมพ์

ในขั้นตอนนี้เตรียมหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีปริมาณโซลตั้งแต่ 0-70% โดยไม่มีสารลดแรงตึงผิวได้แก่ อะเซทิลีนิก ไกลคอล เป็นส่วนประกอบเนื่องจากในขั้นตอนการพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ (หัวข้อที่ 4.2.4) พบว่าหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบที่สามารถพิมพ์ได้กับเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเอปสันรุ่น C-60 ไม่จำเป็นต้องมีสารลดแรงตึงผิว

หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่เตรียมในขั้นตอนนี้ถูกนำไปเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนวัสดุพิมพ์ชนิดต่างๆได้แก่

- กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัทแคนนอน รุ่น PR-101
- กระดาษเคลือบผิวชนิดด้านสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ตของบริษัทเอปสัน
- กระดาษรีไซเคิล
- แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ต
- กระดาษสา

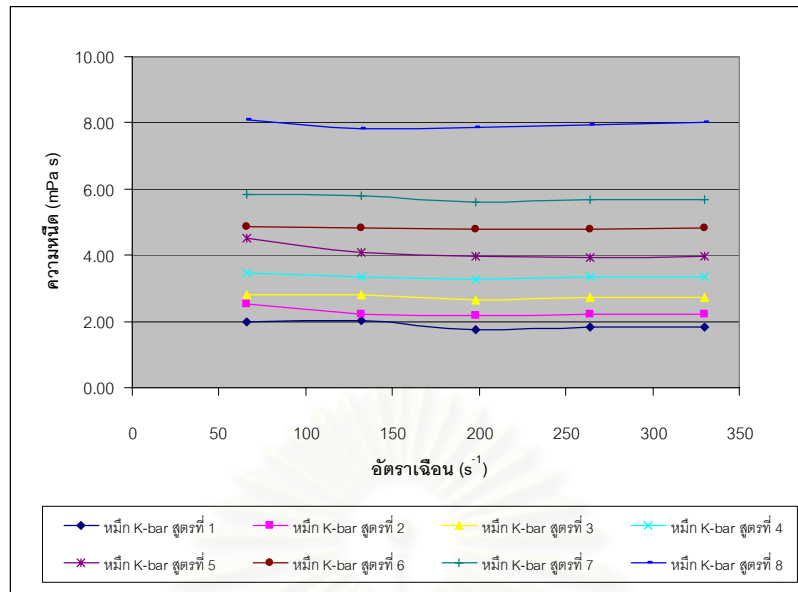
เพื่อทดสอบสมบัติ การทนทานต่อแสง ความแข็งของชั้นฟิล์ม และการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์ไปพร้อมกันกับ ความหนืดของหมึกพิมพ์ ค่าความเป็นกรดเบส และแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ที่เตรียมในขั้นตอนนี้ สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.12 รูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 แสดงความหนืดของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีปริมาณไซลตั้งแต่ 0-70%สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

หมึกพิมพ์K-bar	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (mPa s) ที่อัตราเฉือนต่างๆ อุณหภูมิ $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$				
	66.0 s^{-1}	132.0 s^{-1}	198.0 s^{-1}	264.0 s^{-1}	330.0 s^{-1}
สูตรที่ 1 (ไซล 0% AcG* 0%)	1.98	2.01	1.74	1.83	1.82
สูตรที่ 2 (ไซล 10% AcG 0%)	2.52	2.22	2.16	2.20	2.20
สูตรที่ 3 (ไซล 20% AcG 0%)	2.82	2.82	2.64	2.71	2.71
สูตรที่ 4 (ไซล 30% AcG 0%)	3.48	3.33	3.28	3.33	3.35
สูตรที่ 5 (ไซล 40% AcG 0%)	4.50	4.08	3.96	3.93	3.98
สูตรที่ 6 (ไซล 50% AcG 0%)	4.86	4.83	4.78	4.80	4.83
สูตรที่ 7 (ไซล 60% AcG 0%)	5.82	5.79	5.62	5.68	5.70
สูตรที่ 8 (ไซล 70% AcG 0%)	8.10	7.83	7.86	7.95	8.03

หมายเหตุ *AcG คือ สารละลายอะเซทีลีนิก ไกลคอล 10%



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความหนืดของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีปริมาณโซลตั้งแต่ 0-70% สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.10 แสดงความหนืดของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีปริมาณโซลตั้งแต่ 0-70% สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar พบว่าความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโซลที่ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลตรงกันกับหมึกพิมพ์ที่เตรียมในหัวข้อที่ 4.2.3

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงดึงผิวและค่าความเป็นกรดเบสของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีปริมาณโซลตั้งแต่ 0-70% สำหรับการเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

หมึกพิมพ์ K-bar	ค่าแรงดึงผิว (mN/m)	ค่าความเป็นกรดเบส
สูตรที่ 1 (โซล 0% AcG* 0%)	57.61	1.89
สูตรที่ 2 (โซล 10% AcG 0%)	51.07	1.86
สูตรที่ 3 (โซล 20% AcG 0%)	48.19	1.87
สูตรที่ 4 (โซล 30% AcG 0%)	42.84	1.84
สูตรที่ 5 (โซล 40% AcG 0%)	39.52	1.82
สูตรที่ 6 (โซล 50% AcG 0%)	36.48	1.84
สูตรที่ 7 (โซล 60% AcG 0%)	34.44	1.85
สูตรที่ 8 (โซล 70% AcG 0%)	31.12	1.87

หมายเหตุ *AcG คือ สารละลายอะเซทิลีนิก ไกลคอล 10%

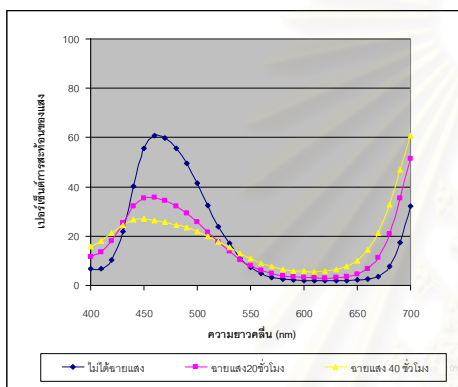
จากตารางที่ 4.13 พบว่าค่าแรงดึงผิวของหมึกพิมพ์มีค่าลดลง เมื่อปริมาณโซลที่ใช้ในสูตรหมึกเพิ่มขึ้น

4.2.5.1 การทดสอบการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์

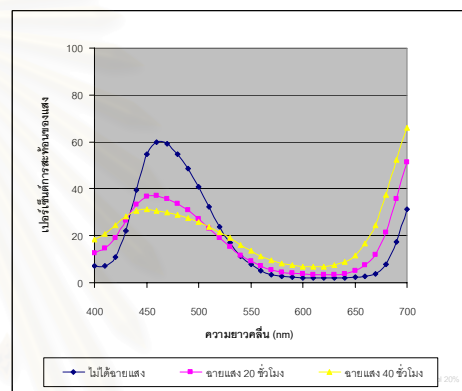
สำหรับการทดสอบการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์นี้ ได้ทดสอบกับหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบตั้งแต่ 10% ถึง 70% หมึกพิมพ์ที่ไม่มีโซลเป็นส่วนประกอบ และหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า เพื่อศึกษาผลของปริมาณโซลในหมึกพิมพ์ที่มีผลต่อการทนทานต่อแสง โดยฉายแสงด้วยเครื่อง Xenon weather meter เป็นเวลา 20 และ 40 ชั่วโมง ที่สภาวะ

- กำลังต่อพื้นที่ 42 W/m^2 ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร
- อุณหภูมิ $63 \pm 3^\circ\text{C}$
- ความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 5 \% \text{RH}$

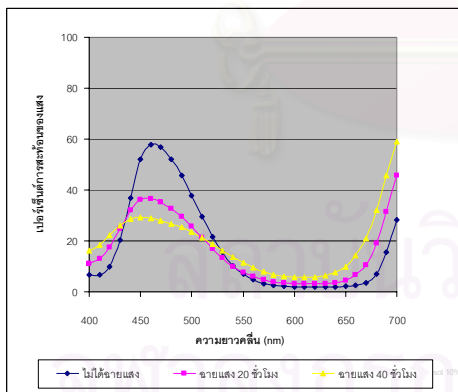
จากนั้นนำสิ่งพิมพ์ทั้งที่ผ่านการฉายแสงและไม่ผ่านการฉายแสงวัดค่าสีและค่าความดำของสิ่งพิมพ์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและการเปลี่ยนแปลงความดำ ผลของการทดสอบจะแสดง การสะท้อนของแสง และ CIE L*a*b* โคออดิเนต เพื่อนำไปคำนวณความต่างสี (ΔE^*_{ab}) ก่อนฉายแสงและหลังฉายแสง ของหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบในปริมาณต่างๆ และสิ่งพิมพ์ที่ใช้หมึกที่พิมพ์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ต การสะท้อนของแสงของสิ่งพิมพ์ของการทดสอบสามารถแสดงได้ดังนี้



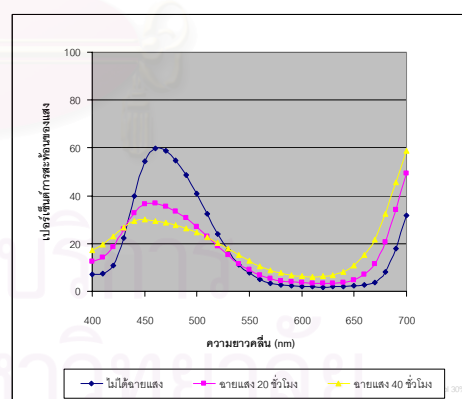
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 1 (โซล 0%)



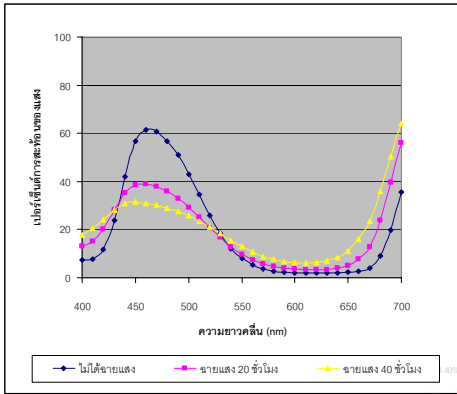
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 3 (โซล 20%)



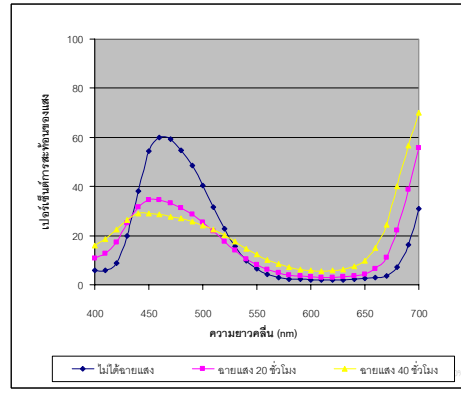
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 2 (โซล 10%)



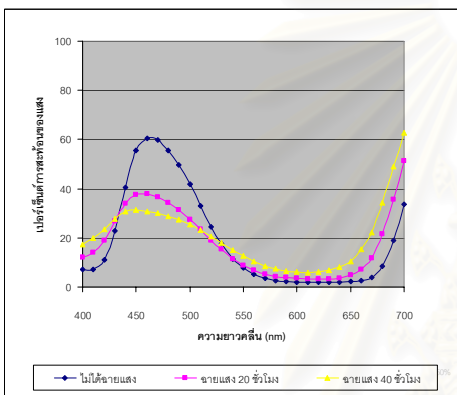
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 4 (โซล 30%)



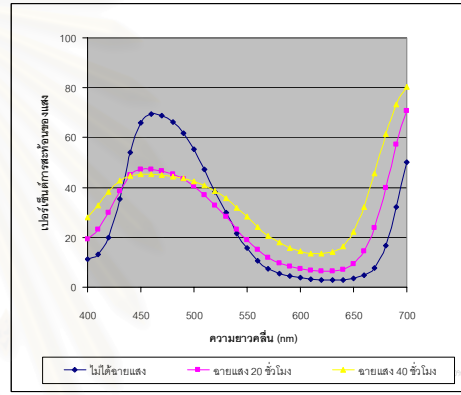
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 5 (ไซล 40%)



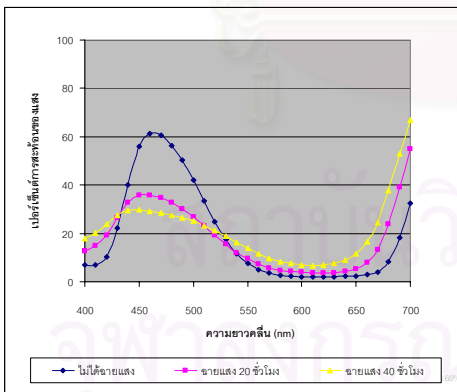
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 8 (ไซล 70%)



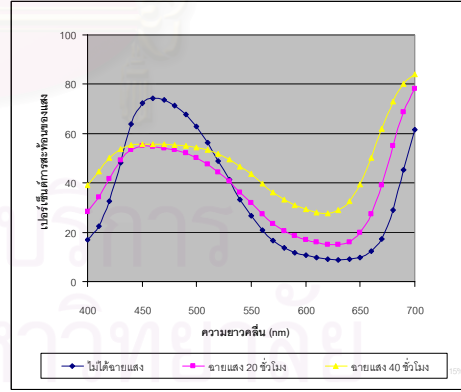
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 6 (ไซล 50%)



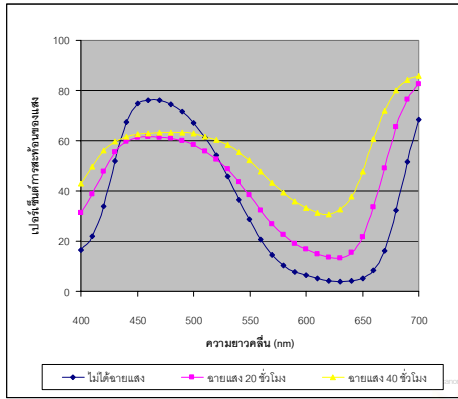
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์สูตรที่ 16 (ไซล 10%)



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์ K-bar สูตรที่ 7 (ไซล 60%)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์สูตรที่ 17 (ไซล 15%)



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้า

จากรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.21 ที่แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของแสงของสิ่งพิมพ์ทั้งที่ใช้สูตรหมึกพิมพ์ที่สามารถพิมพ์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบสีร้อน C-60 สูตรหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ททางการค้าที่สามารถพิมพ์ได้ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบสีร้อนรุ่น BJ F850 และสิ่งพิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ที่ใช้หมึกที่มีโซลเป็นส่วนประกอบในปริมาณต่างๆ สีย้อมที่ใช้มีสีน้ำเงินซึ่งให้การสะท้อนแสงสูงสุดที่ 460 นาโนเมตร เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของสิ่งพิมพ์ทั้งหมดที่นำมาทดสอบมีค่าลดลง เมื่อผ่านการฉายแสงเป็นเวลา 20 ชม. และ 40 ชม. ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนแปลงของสีในรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน นอกจากการแสดงผลต่างๆดังกล่าวนี้ การแสดงผลในรูปแบบของค่า CIE L*a*b* เพื่อนำไปคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีได้แก่ ΔE^*_{ab} ของสีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีของสิ่งพิมพ์ได้ชัดเจนกว่า ซึ่งค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง สามารถแสดงได้ดังนี้

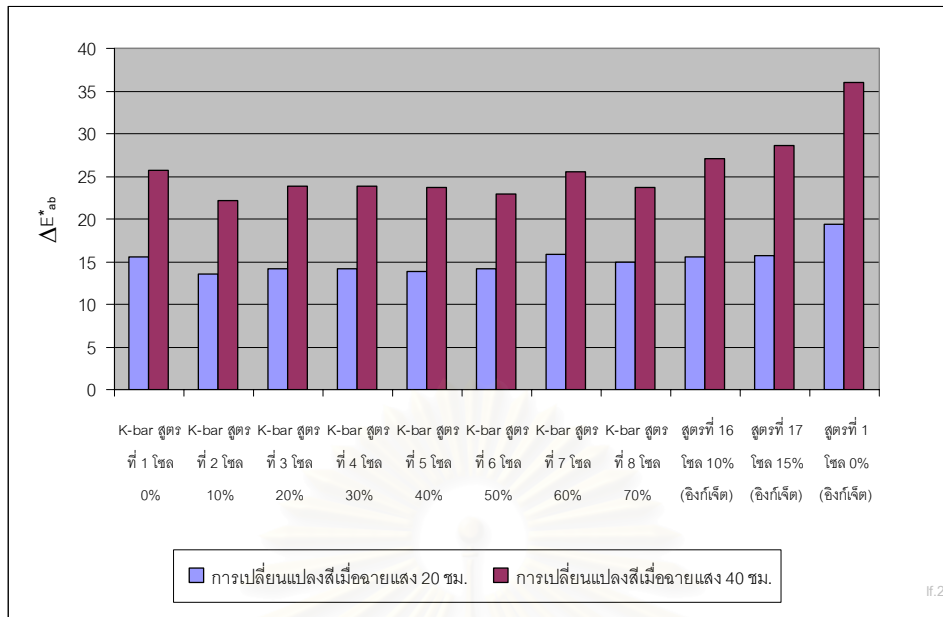
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE L*a*b* ก่อนฉายแสง			ค่า CIE L*a*b* หลังฉายแสง 20 ชม.			ΔE^*_{ab}
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
K-bar สีดอร์ที่ 1 โชล 0%	45.98	-24.34	-46.00	40.84	-12.80	-36.86	15.59
K-bar สีดอร์ที่ 2 โชล 10%	44.53	-22.48	-45.30	40.56	-11.99	-37.84	13.47
K-bar สีดอร์ที่ 3 โชล 20%	45.98	-24.04	-45.41	42.43	-14.13	-35.98	14.13
K-bar สีดอร์ที่ 4 โชล 30%	46.00	-24.28	-45.34	42.25	-14.37	-35.89	14.20
K-bar สีดอร์ที่ 5 โชล 40%	47.10	-25.52	-45.50	43.74	-15.70	-36.31	13.86
K-bar สีดอร์ที่ 6 โชล 50%	46.42	-24.61	-45.50	42.38	-14.19	-36.91	14.10
K-bar สีดอร์ที่ 7 โชล 60%	46.57	-24.98	-45.43	42.57	-13.88	-34.83	15.86
K-bar สีดอร์ที่ 8 โชล 70%	45.15	-23.41	-45.98	40.78	-13.50	-35.82	13.61
สีดอร์ที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ด)	55.08	-31.69	-41.84	53.71	-20.70	-30.91	15.56
สีดอร์ที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ด)	63.25	-28.00	-35.09	63.87	-18.20	-22.80	15.73
สีดอร์ที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ด)	63.75	-36.90	-36.58	67.60	-23.68	-22.97	19.36

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 40 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE L*a*b* ก่อนฉายแสง			ค่า CIE L*a*b* หลังฉายแสง 40 ชม.			ΔE^*_{ab}
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
K-bar สีดอร์ที่ 1 โชล 0%	45.98	-24.34	-46.00	42.31	-9.18	-25.59	25.69
K-bar สีดอร์ที่ 2 โชล 10%	44.53	-22.48	-45.30	43.36	-10.08	-26.94	22.19
K-bar สีดอร์ที่ 3 โชล 20%	45.98	-24.04	-45.41	46.18	-11.16	-25.28	23.90
K-bar สีดอร์ที่ 4 โชล 30%	46.00	-24.28	-45.34	44.90	-11.17	-25.49	23.81
K-bar สีดอร์ที่ 5 โชล 40%	47.10	-25.52	-45.50	45.46	-11.04	-26.76	23.74
K-bar สีดอร์ที่ 6 โชล 50%	46.42	-24.61	-45.50	45.10	-11.16	-27.02	22.89
K-bar สีดอร์ที่ 7 โชล 60%	46.57	-24.98	-45.43	45.93	-11.06	-24.04	25.53
K-bar สีดอร์ที่ 8 โชล 70%	45.15	-23.41	-45.98	44.34	-11.73	-25.45	21.75
สีดอร์ที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ด)	55.08	-31.69	-41.84	60.28	-16.27	-20.18	27.09
สีดอร์ที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ด)	63.25	-28.00	-35.09	71.30	-12.07	-12.81	28.55
สีดอร์ที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ด)	63.75	-36.90	-36.58	75.93	-14.33	-11.40	35.94



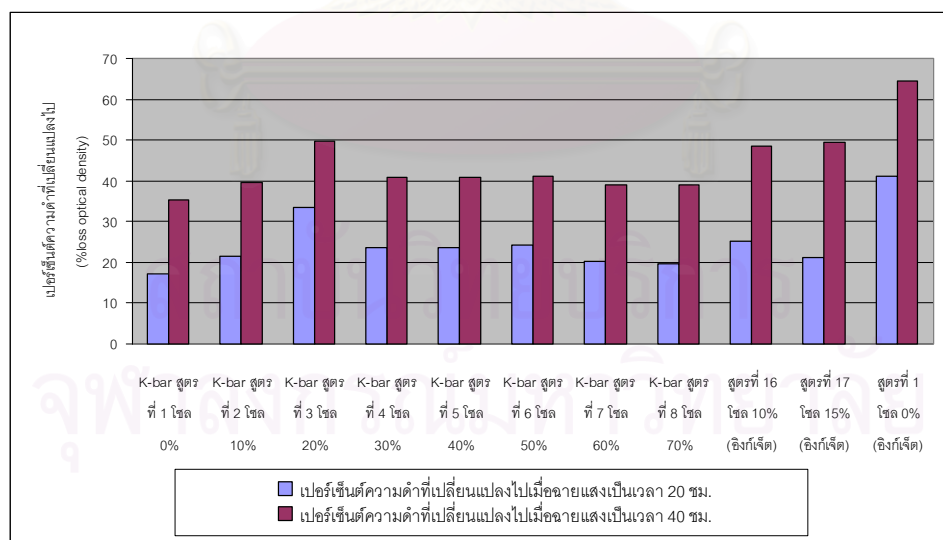
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า ΔE_{ab}^* ของสีของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.14 ถึง 4.15 และรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง และเมื่อนำค่า ΔE_{ab}^* ของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง มาแสดงในรูปแบบของกราฟพบว่าปริมาณโซลในสูตรหมึกที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการทนทานต่อแสง ซึ่งสามารถสังเกตได้ค่า ΔE_{ab}^* ที่เปลี่ยนแปลงไปของสิ่งพิมพ์ที่ใช้กับหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบในปริมาณต่างๆ เมื่อปริมาณโซลเพิ่มขึ้นในสูตรหมึก ΔE_{ab}^* มีค่าไม่แตกต่างกันมากและมีความสัมพันธ์ไม่สอดคล้องกับปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นบนสิ่งพิมพ์

สำหรับค่าความดำของสิ่งพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมงสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความดำของสิ่งพิมพ์และเปอร์เซ็นต์ความดำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่าความดำของสิ่งพิมพ์			เปอร์เซ็นต์ความดำที่เปลี่ยนแปลงไป	
	ก่อนฉายแสง	เมื่อฉายแสง 20 ชม.	เมื่อฉายแสง 40 ชม.	เมื่อฉายแสง 20 ชม.	เมื่อฉายแสง 40 ชม.
K-bar สูตรที่ 1 โชล 0%	2.29	1.89	1.48	17.15	35.29
K-bar สูตรที่ 2 โชล 10%	2.43	1.91	1.47	21.48	39.59
K-bar สูตรที่ 3 โชล 20%	2.73	1.82	1.37	33.57	49.72
K-bar สูตรที่ 4 โชล 30%	2.41	1.84	1.43	23.78	40.87
K-bar สูตรที่ 5 โชล 40%	2.38	1.82	1.41	23.57	40.97
K-bar สูตรที่ 6 โชล 50%	2.43	1.85	1.43	24.16	41.18
K-bar สูตรที่ 7 โชล 60%	2.24	1.79	1.37	20.26	39.01
K-bar สูตรที่ 8 โชล 70%	2.45	1.97	1.50	19.75	38.89
สูตรที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ต)	1.78	1.33	0.92	25.14	48.40
สูตรที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ต)	1.12	0.88	0.57	21.14	49.42
สูตรที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ต)	1.47	0.87	0.52	41.03	64.38



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความดำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.23 ที่แสดงค่าความด้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมง และ 40 ชั่วโมง ให้ผลคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของสีของสิ่งพิมพ์ที่แสดงด้วยค่า ΔE_{ab}^* โดยค่าความด้าที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสัมพันธ์ไม่สอดคล้องกับปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นของหมึกพิมพ์สูตรต่างๆ แสดงให้เห็นว่าปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นของหมึกพิมพ์บนสิ่งพิมพ์ไม่ส่งผลต่อการทนทานต่อแสง

4.2.5.2 การทดสอบการทนทานต่อขีดข่วนของสิ่งพิมพ์

การทดสอบความแข็งของชั้นฟิล์มจะสามารถบอกถึงการทนทานต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มได้โดยตรง ในการทดลองนี้ใช้ดินสอที่มีความแข็งตามเบอร์ต่างๆ ซึ่งสามารถเรียงลำดับความแข็งของดินสอจากมากไปน้อย ที่แสดงความสัมพันธ์ไว้ดังในรูปที่ 3.2 และบันทึกเบอร์ความแข็งดินสอซึ่งเป็นเบอร์สุดท้ายที่ไม่ทำให้เกิดรอยขีดจนทำให้หมึกพิมพ์ที่ติดอยู่บนสิ่งพิมพ์หลุด ผลการทดสอบการทนทานต่อการขีดข่วน สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบการทนทานต่อการขีดข่วนด้วยดินสอของสิ่งพิมพ์ชนิดต่างๆ

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	วัสดุพิมพ์				
	กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว	กระดาษเคลือบผิวชนิดด้าน	กระดาษรีไซเคิล	แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ต	กระดาษสา
K-bar สูตรที่ 1 โซล 0%	3H	3B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 2 โซล 10%	3H	4B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 3 โซล 20%	3H	4B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 4 โซล 30%	3H	2B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 5 โซล 40%	2H	3B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 6 โซล 50%	2H	3B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 7 โซล 60%	2H	3B	> 5H	> 5H	> 5H
K-bar สูตรที่ 8 โซล 70%	3H	B	> 5H	> 5H	> 5H
สูตรที่ 16 โซล 10%(อิงก์เจ็ต)	2H	H	> 5H	> 5H	> 5H
สูตรที่ 17 โซล 15%(อิงก์เจ็ต)	2H	H	> 5H	> 5H	> 5H
สูตรที่ 1 โซล 0%(อิงก์เจ็ต)	> 5H	F	> 5H	> 5H	> 5H

จากตารางที่ 4.17 ที่แสดงผลของการทดสอบการทนทานต่อการขีดข่วนของวัสดุพิมพ์ชนิดต่างๆที่มีผลต่อหมึกพิมพ์ พบว่าผลของความแข็งแรงของชั้นฟิล์มของสิ่งพิมพ์ที่ใช้กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อหมึกที่ใช้มีปริมาณโซลเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2H ถึง 3H และกระดาษเคลือบผิวชนิดด้าน และมีแนวโน้มที่ความแข็งแรงของชั้นฟิล์มของวัสดุพิมพ์อ่อนลงเมื่อปริมาณโซลที่ใช้ในสูตรหมึกมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับสิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์ได้แก่ กระดาษรีไซเคิล และกระดาษสา มีค่าความแข็งตามเบอร์ของดินสอ >5H เนื่องจากหมึกพิมพ์ซึมลงไป在线ใยของกระดาษ ส่วนสิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์เป็นแผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ต พบว่าชั้นสารเคลือบผิวมีความแข็งแรงมากกว่าดินสอเบอร์ 5H

4.2.5.3 การทดสอบการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์

สำหรับการทดสอบการทนทานต่อน้ำนี้ ทำการทดสอบกับสิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์ได้แก่

- กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ตของบริษัทแคนนอนรุ่น PR-101
- กระดาษเคลือบผิวชนิดด้านสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ตของบริษัทเอปสัน
- กระดาษรีไซเคิล
- แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ต
- กระดาษสา

หลังจากการจุ่มลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 1 นาที และแสดงผลข้อมูลสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการจุ่มน้ำ การวัดค่าสีได้แก่ การสะท้อนแสงและ CIE L*a*b* โคออดิเนต ให้วัดสีทั้งก่อนและหลังการจุ่มน้ำของสิ่งพิมพ์ พร้อมทั้งคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีได้แก่ ΔE_{ab}^* ของสีที่เปลี่ยนแปลงไปของสีหลังจากผ่านการจุ่มน้ำ

ตารางที่ 4.18 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาวที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE L*a*b* ก่อนจุ่มน้ำ			ค่า CIE L*a*b* หลังจุ่มน้ำ			ΔE^*_{ab}
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
K-bar สีดอร์ที่ 1 โชล 0%	52.83	-34.89	-44.40	53.18	-32.63	-45.96	2.77
K-bar สีดอร์ที่ 2 โชล 10%	49.33	-29.90	-46.22	54.23	-34.16	-43.39	7.08
K-bar สีดอร์ที่ 3 โชล 20%	52.21	-33.37	-44.70	55.49	-34.04	-43.58	3.53
K-bar สีดอร์ที่ 4 โชล 30%	52.81	-33.30	-44.13	59.64	-37.60	-40.32	8.92
K-bar สีดอร์ที่ 5 โชล 40%	55.53	-37.41	-42.74	59.09	-36.48	-41.58	3.86
K-bar สีดอร์ที่ 6 โชล 50%	55.73	-36.87	-43.02	57.96	-35.67	-42.15	2.68
K-bar สีดอร์ที่ 7 โชล 60%	56.80	-38.79	-42.03	59.57	-36.11	-41.35	3.91
K-bar สีดอร์ที่ 8 โชล 70%	58.52	-38.29	-40.39	57.84	-32.08	-42.46	6.58
สีดอร์ที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ต)	63.27	-35.75	-35.89	60.93	-37.74	-40.78	5.77
สีดอร์ที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ต)	68.72	-30.29	-30.73	64.39	-39.57	-38.59	12.91
สีดอร์ที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ต)	66.52	-41.43	-34.45	64.58	-40.56	-37.56	3.77

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษเคลือบผิวชนิดด้านที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE L*a*b* ก่อนจุ่มน้ำ			ค่า CIE L*a*b* หลังจุ่มน้ำ			ΔE^*_{ab}
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
K-bar สีดอร์ที่ 1 โชล 0%	48.08	-28.34	-35.72	70.05	-27.90	-21.88	3.69
K-bar สีดอร์ที่ 2 โชล 10%	48.58	-28.91	-34.98	62.50	-34.06	-30.03	4.19
K-bar สีดอร์ที่ 3 โชล 20%	47.12	-27.04	-35.02	62.16	-31.68	-27.30	3.13
K-bar สีดอร์ที่ 4 โชล 30%	47.30	-25.49	-36.07	66.37	-29.18	-26.59	2.36
K-bar สีดอร์ที่ 5 โชล 40%	46.31	-24.77	-35.53	65.45	-27.78	-25.11	3.40
K-bar สีดอร์ที่ 6 โชล 50%	47.08	-25.26	-35.20	58.96	-30.43	-31.32	3.63
K-bar สีดอร์ที่ 7 โชล 60%	43.67	-21.02	-35.18	61.43	-26.04	-25.87	2.79
K-bar สีดอร์ที่ 8 โชล 70%	44.87	-22.24	-35.15	56.58	-28.82	-31.21	4.19
สีดอร์ที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ต)	54.29	-33.42	-32.96	71.93	-30.21	-23.07	2.77
สีดอร์ที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ต)	60.85	-34.30	-32.01	78.69	-21.63	-18.13	10.23
สีดอร์ที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ต)	62.86	-36.07	-30.79	82.33	-14.38	-12.64	3.18

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า CIE $L^*a^*b^*$ ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์
ประเภทกระดาษรีไซเคิลที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ

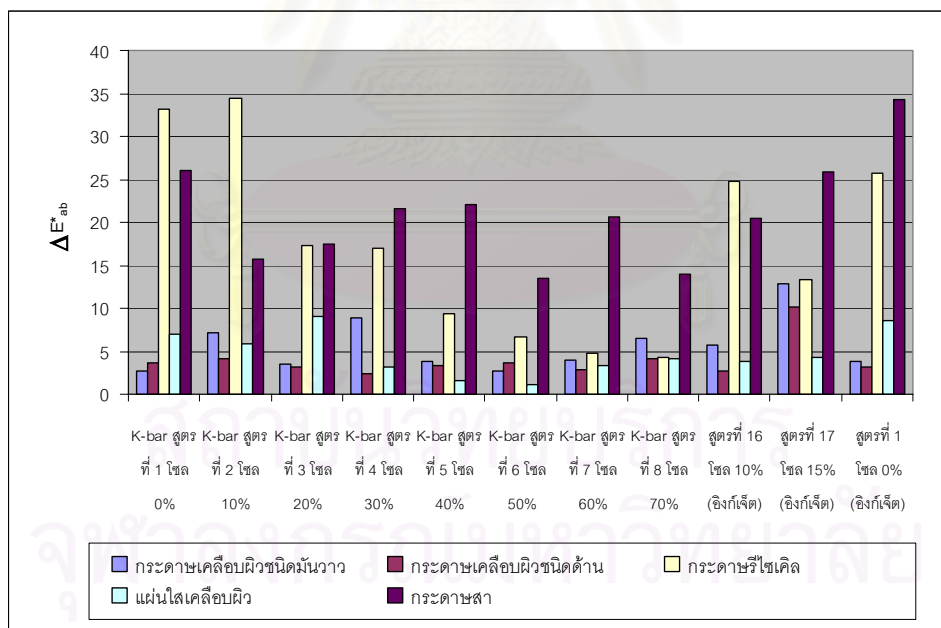
หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ก่อนจุ่มน้ำ			ค่า CIE $L^*a^*b^*$ หลังจุ่มน้ำ			ΔE^*_{ab}
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
K-bar สูตรที่ 1 โชล 0%	38.32	-26.23	-12.61	57.99	-14.51	11.47	33.23
K-bar สูตรที่ 2 โชล 10%	38.96	-26.43	-11.56	58.69	-12.27	12.86	34.44
K-bar สูตรที่ 3 โชล 20%	38.87	-26.00	-10.62	50.46	-24.27	2.15	17.33
K-bar สูตรที่ 4 โชล 30%	39.59	-26.01	-9.88	50.29	-21.31	2.53	17.05
K-bar สูตรที่ 5 โชล 40%	40.95	-25.22	-7.93	47.24	-24.10	-1.00	9.43
K-bar สูตรที่ 6 โชล 50%	40.35	-23.09	-7.86	44.96	-24.53	-3.17	6.73
K-bar สูตรที่ 7 โชล 60%	39.95	-21.75	-7.91	42.25	-25.55	-6.31	4.72
K-bar สูตรที่ 8 โชล 70%	39.41	-20.81	-7.35	39.59	-24.89	-8.40	4.22
สูตรที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ด)	46.57	-19.34	-1.77	60.61	-8.68	15.71	24.83
สูตรที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ด)	54.06	-10.27	7.59	62.06	-5.87	17.25	13.29
สูตรที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ด)	47.60	-24.62	-2.48	60.17	-10.06	14.56	25.70

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า CIE $L^*a^*b^*$ ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์
ประเภทแผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ดที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE $L^*a^*b^*$ ก่อนจุ่มน้ำ			ค่า CIE $L^*a^*b^*$ หลังจุ่มน้ำ			ΔE^*_{ab}
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
K-bar สูตรที่ 1 โชล 0%	35.86	-14.77	-8.71	39.44	-10.66	-4.25	7.04
K-bar สูตรที่ 2 โชล 10%	35.15	-14.69	-9.08	38.10	-11.01	-5.61	5.86
K-bar สูตรที่ 3 โชล 20%	35.24	-15.47	-10.04	39.35	-10.23	-4.01	8.98
K-bar สูตรที่ 4 โชล 30%	34.82	-14.75	-9.52	36.66	-13.55	-7.25	3.16
K-bar สูตรที่ 5 โชล 40%	34.14	-14.12	-9.38	35.15	-15.25	-9.19	1.53
K-bar สูตรที่ 6 โชล 50%	34.25	-14.15	-9.75	34.79	-14.98	-9.39	1.05
K-bar สูตรที่ 7 โชล 60%	32.61	-11.21	-12.10	33.35	-14.38	-11.50	3.31
K-bar สูตรที่ 8 โชล 70%	31.18	-11.98	-10.33	33.87	-15.09	-10.92	4.15
สูตรที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ด)	35.53	-11.47	-8.50	38.08	-12.88	-5.93	3.89
สูตรที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ด)	36.90	-8.04	-5.87	38.96	-11.72	-5.20	4.27
สูตรที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ด)	34.63	-12.39	-8.03	40.22	-8.53	-2.92	8.50

ตารางที่ 4.22 แสดงค่า CIE L*a*b* ที่สภาวะ D65/10° SPIN และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษที่เปลี่ยนแปลงไป ก่อนและหลังการจุ่มน้ำ

หมึกพิมพ์ที่ใช้กับสิ่งพิมพ์	ค่า CIE L*a*b* ก่อนจุ่มน้ำ			ค่า CIE L*a*b* หลังจุ่มน้ำ			ΔE^*_{ab}
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
K-bar สูตรที่ 1 โชล 0%	48.08	-28.34	-35.72	70.05	-27.90	-21.88	25.97
K-bar สูตรที่ 2 โชล 10%	48.58	-28.91	-34.98	62.50	-34.06	-30.03	15.65
K-bar สูตรที่ 3 โชล 20%	47.12	-27.04	-35.02	62.16	-31.68	-27.30	17.53
K-bar สูตรที่ 4 โชล 30%	47.30	-25.49	-36.07	66.37	-29.18	-26.59	21.61
K-bar สูตรที่ 5 โชล 40%	46.31	-24.77	-35.53	65.45	-27.78	-25.11	22.00
K-bar สูตรที่ 6 โชล 50%	47.08	-25.26	-35.20	58.96	-30.43	-31.32	13.52
K-bar สูตรที่ 7 โชล 60%	43.67	-21.02	-35.18	61.43	-26.04	-25.87	20.67
K-bar สูตรที่ 8 โชล 70%	44.87	-22.24	-35.15	56.58	-28.82	-31.21	14.00
สูตรที่ 16 โชล 10%(อิงก์เจ็ด)	54.29	-33.42	-32.96	71.93	-30.21	-23.07	20.48
สูตรที่ 17 โชล 15%(อิงก์เจ็ด)	60.85	-34.30	-32.01	78.69	-21.63	-18.13	25.91
สูตรที่ 1 โชล 0%(อิงก์เจ็ด)	62.86	-36.07	-30.79	82.33	-14.38	-12.64	34.34



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า ΔE^*_{ab} ของสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจุ่มน้ำของสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว กระดาษเคลือบผิวชนิดด้าน กระดาษรีไซเคิล แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงก์เจ็ด และกระดาษสา

จากตารางที่ 4.18 ถึง 4.22 แสดงค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ และ ΔE^*_{ab} ของสีของสิ่งพิมพ์ชนิดต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งก่อนและหลังการจุ่มน้ำ ซึ่งค่า ΔE^*_{ab} จะถูกนำไปแสดงแนวโน้มในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 4.24 โดยผลของการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์แสดงผลกระทบของปริมาณโซลที่มีในสูตรหมึกได้อย่างเด่นชัดกับสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษรีไซเคิลและแผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ต พบว่าการเพิ่มปริมาณของโซลที่มีในสูตรหมึก ส่งผลดีต่อการทนทานต่อน้ำซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่า ΔE^*_{ab} ที่ลดลงเมื่อใช้หมึกพิมพ์ที่มีปริมาณโซลเพิ่มขึ้น ในขณะที่สิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์ประเภทอื่นๆ ให้ผลของการทนทานต่อน้ำที่ไม่ชัดเจนนักและเป็นที่น่าสังเกตกับสิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์ประเภทที่มีการเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ตได้แก่ กระดาษเคลือบผิวชนิดมันวาว กระดาษเคลือบผิวชนิดด้าน แผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ต มีแนวโน้มของการทนทานต่อน้ำที่ดีซึ่งสังเกตได้จากค่า ΔE^*_{ab} ที่มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับสิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์ที่ไม่มีการเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเตรียมหมึกพิมพ์สูตรที่มีซิลเป็นส่วนประกอบทั้งหมดในการวิจัยนี้ เลือกใช้ซิลที่สังเคราะห์จาก TEOS เนื่องจาก TEOS เป็นสารประกอบตั้งต้นประเภทซิลิโคนอัลคอกไซด์ที่ง่ายต่อการสังเคราะห์ในกระบวนการซิล เจล และมีรายงานการวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ TEOS มากมาย จึงเหมาะสมแก่การเริ่มต้นการวิจัยที่นำซิลมาเป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ สำหรับอัตราส่วนของซิลที่ใช้ในการวิจัยนี้ เลือกซิลที่มีอัตราส่วนโดยโมล $TEOS:H_2O:HCl = 1:12.38:0.01$ โดยสังเกตจากค่าความหนืดที่เหมาะสมต่อการพิมพ์อิงก์เจ็ตที่มีค่าอยู่ในช่วง 4.98 ถึง 5.16 mPas โดยเจลแห้งที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของซิลที่เตรียมจาก TEOS จะทำหน้าที่ล้อมโมเลกุลของสีย้อมที่เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต นอกจากนี้การทดสอบความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซิลนี้ถือเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อทำให้ทราบถึงเวลาที่เหมาะสมที่สามารถนำซิลไปใช้กับหมึกพิมพ์ ป้องกันอันตรายจากสารประกอบตั้งต้นที่เหลืออยู่ ในการวิจัยนี้ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีวิเคราะห์ความสมบูรณ์ในการเกิดปฏิกิริยาของซิลที่มีอัตราส่วน $TEOS : HCl \text{ pH}2 = 2:2 \text{ ml}$ (อัตราส่วนโดยโมล $TEOS:H_2O:HCl = 1:12.38:0.002$) พบว่า TEOS ในซิลเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ในเวลา 24 ชม. ถือเป็นการยืนยันได้ว่าซิลที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ ($TEOS:H_2O:HCl = 1:12.38:0.01$) เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ใช้เวลาไม่เกิน 24 ชม. เนื่องจากกรดที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณมากกว่า

สำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ตโดยใช้หมึกพิมพ์ที่มีซิลเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากระบบพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นระบบพิมพ์ที่ละเอียดอ่อน และปัญหาที่มักพบกับการทดลองด้วยเครื่องเป็นการพิมพ์อิงก์เจ็ตคือ ไม่สามารถผลึกหมึกผ่านหัวพิมพ์ได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากหัวพิมพ์อุดตันหรือสมบัติที่ไม่เหมาะสมของหมึกพิมพ์ ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องสนใจศึกษาคือ สมบัติทางกายภาพของหมึกพิมพ์ที่จะนำมาใช้ กับเครื่องพิมพ์ ได้แก่ ความหนืดของหมึกพิมพ์ แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ และขนาดอนุภาคของสารภายในหมึกพิมพ์ ในการวิจัยนี้จึงเริ่มต้นด้วยการศึกษาสมบัติขั้นพื้นฐานของหมึกพิมพ์ที่ใช้ได้กับเครื่องพิมพ์เอปสันรุ่น C60 เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงหมึกพิมพ์ที่มีซิลเป็นส่วนประกอบ หมึกพิมพ์ดังกล่าวเป็นหมึกพิมพ์ของบริษัท Inkman เมื่อวัดสมบัติของหมึกพบว่า ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าอยู่ในช่วง 3.24 ถึง 3.96 mPa s ค่าแรงตึงผิวของหมึกมีค่า

อยู่ในช่วง 33.98 ถึง 34.75 mN/m และมีค่าความเป็นกรดเบสอยู่ในช่วง pH 7.42 ถึง pH 8.50 สำหรับปัญหาขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ทำให้เกิดการอุดตัน สูตรหมึกที่เตรียมทั้งหมดในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้สีย้อม และขนาดของอนุภาคทั่วไปของโซลมีค่าอยู่ในช่วง 1-1000 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดของหัวพิมพ์ จึงมั่นใจได้ว่าปัญหาการอุดตันจะไม่เกิดจากขนาดอนุภาคของโซล

อย่างไรก็ตาม การนำโซลมาเป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ที่ทำหน้าที่เป็นสิ่งที่นำสีมีความเสี่ยงที่จะเกิดการอุดตันอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการโซล เจลเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการพอลิเมอไรเซชันที่สามารถทำให้หมึกพิมพ์สามารถแข็งตัวได้ก่อนกำหนด ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีการศึกษาผลกระทบของหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบก่อนการพิมพ์โดยใช้การเคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนกระจกสไลด์ และการพ่นหมึกด้วยแอร์บรัซลงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ ได้แก่ กระจกเคลือบผิวชนิดมันวาว กระจกเคลือบผิวชนิดด้าน และแผ่นใสไม่เคลือบผิว พบว่าการใช้โซลเป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์มีผลทำให้กระดาษของตัวเนื่องจากการหดตัวของเจลเมื่อแห้งตัว อย่างไรก็ตาม หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทสามารถแห้งตัวได้บนผิวของวัสดุพิมพ์อื่นที่ไม่ใช่กระดาษเช่น กระจกสไลด์ และแผ่นใสไม่เคลือบผิว นอกจากนี้ภาพถ่ายตัดขวางของกระจกเคลือบผิวชนิดมันวาว และกระจกเคลือบผิวชนิดด้านที่เคลือบด้วยหมึกที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ แสดงให้เห็นว่าหมึกที่มีโซลเป็นส่วนประกอบสามารถซึมผ่านลงในชั้นของสารเคลือบผิวของกระดาษทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวได้

หลังจากทราบผลกระทบของหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบก่อนการพิมพ์ดังกล่าว จึงมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของโซลในปริมาณต่างๆต่อองค์ประกอบของสูตรหมึก สมบัติที่สนใจศึกษาได้แก่ ผลกระทบของความหนืดและการส่องผ่านของแสงต่อหมึกพิมพ์ที่มีโซลในปริมาณต่างๆ พบว่าโซลในองค์ประกอบหมึกที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืดของหมึกพิมพ์ แต่ไม่มีผลต่อการส่องผ่านของแสงต่อหมึกพิมพ์ โดยการส่องผ่านของแสงต่อหมึกพิมพ์ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมที่ใช้เท่านั้น นั่นคือสีของสีย้อมไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีโซลเป็นส่วนประกอบในหมึกพิมพ์ เมื่อนำหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบในปริมาณต่างๆดังกล่าวนี้ เคลือบผิวด้วยขดลวด K-bar ลงบนแผ่นใสไม่เคลือบผิวและกระจกสไลด์ พบว่าปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นในหมึกพิมพ์ มีผลทำให้ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์แห้งตัวเร็วขึ้น

จากการศึกษาผลกระทบของโซลที่มีผลต่อองค์ประกอบของหมึกพิมพ์และความเสี่ยงที่จะเกิดการอุดตันของหัวพิมพ์ จึงเริ่มต้นด้วยการพิมพ์อิงค์เจ็ทที่ใช้หมึกพิมพ์ที่มีโซลในปริมาณน้อยๆก่อน โดยเริ่มจากโซลที่มีปริมาณ 10% ในสูตรหมึก และปรับปรุงสารลดแรงตึงผิวให้เหมาะสม

ต่อการนำไปใช้ หลังจากการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบ มีหมึกพิมพ์ที่สามารถนำมาใช้พิมพ์ได้ 2 สูตรเท่านั้น ได้แก่ หมึก ที่มีโซลปริมาณ 10% และหมึก ที่มีโซลปริมาณ 15% โดยหมึกพิมพ์ทั้งสองสูตรไม่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบ มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 2.10 ถึง 2.70 mPa s และมีค่าแรงตึงผิว 50.90 mN/m และ 53.50 mN/m ตามลำดับ และเพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณโซลในหมึกพิมพ์ที่มีผลต่อการทนทานต่อแสง การทนทานต่อการขีดข่วน และการทนทานต่อน้ำ จึงได้เตรียมหมึกพิมพ์ที่มีโซลในปริมาณ 10% ถึง 70% เพื่อเคลือบผิวด้วยชุดลด K-bar ลงบนวัสดุพิมพ์ต่างๆ

สำหรับการทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์พบว่า พบว่า ปริมาณโซลในสูตรหมึกที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้การทนทานต่อแสงดีขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลง ΔE_{ab}^* และค่าความดำของสิ่งพิมพ์ที่ใช้หมึกพิมพ์ในสูตรต่างๆที่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับการทนทานต่อการขีดข่วนของสิ่งพิมพ์ พบว่าวัสดุพิมพ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ โดยความทนทานต่อการขีดข่วนของสิ่งพิมพ์ให้ผลแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุพิมพ์หมึกพิมพ์ที่มีโซลเป็นส่วนประกอบสามารถซึมลงไปในเส้นใยของกระดาษที่ไม่เคลือบผิวได้แก่ กระดาษรีไซเคิล และกระดาษสา ส่วนผลของการทนทานต่อการขีดข่วนของวัสดุพิมพ์ที่มีการเคลือบผิว ให้ผลแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุพิมพ์ โดยโซลที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการทนทานต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มบนกระดาษ แต่ปริมาณโซลที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการทนทานต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มบนวัสดุที่เป็นแก้ว สำหรับการทนทานต่อน้ำของสิ่งพิมพ์พบว่าปริมาณโซลที่มีในสูตรหมึกให้ผลอย่างเด่นชัดกับสิ่งพิมพ์ประเภทกระดาษรีไซเคิลและแผ่นใสเคลือบผิวสำหรับพิมพ์อิงค์เจ็ต พบว่าปริมาณของโซลที่เพิ่มขึ้นในสูตรหมึก ทำให้ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ทนทานต่อน้ำมากขึ้น ในขณะที่สิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์ประเภทอื่นมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนนัก โดยการทนทานต่อน้ำของสูตรหมึกที่มีปริมาณโซลต่างกัน อธิบายได้ว่า เมื่อความหนืดของโซลเพิ่มขึ้นดีกรีของการพอลิเมอไรส์สูงขึ้น ดังนั้นโอกาสในการเชื่อมต่อหรือการชนกันของโพลิโกเมอร์ให้เป็นพอลิเมอร์ระหว่างการคอนเดนเซชันเพื่อเกิดเป็นซิติกาเจลย่อมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากโพลิโกเมอร์อยู่ใกล้ชิดกันมากกว่า ผลที่ตามมาคือได้ซิติกาเจลที่มีขนาดของสายโซ่ยาวขึ้น ดังนั้นโอกาสที่สีย้อมจะอยู่ภายในช่องว่างของเจลจะมากขึ้นด้วยหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าสีย้อมที่ไม่อยู่ในโครงสร้างของซิติกาเจลมีน้อยลง ดังนั้นความทนทานต่อน้ำจึงมากขึ้นเมื่อปริมาณโซลมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียเปรียบของการใช้โซลเป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท แนวทางในวิจัยและการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคตถือเป็นสิ่งที่จำเป็น และมีสิ่งที่น่าสนใจอีกมากมายสำหรับการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโซลมาประยุกต์ใช้กับการพิมพ์อิงค์เจ็ท

การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพิมพ์อิงค์เจ็ทที่มีโซลเป็นส่วนประกอบให้สิ่งพิมพ์มีความทนทานต่อแสงได้ดี โดยใช้โซลชนิดอื่นเช่น โซลที่มีสารประกอบไททาเนียม (Titanium) ที่ทำให้เกิดเจลที่มีองค์ประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) เชื่อมต่อและล้อมรอบโมเลกุลของสีย้อมหรืออนุภาคของสารสี โดยไททาเนียมไดออกไซด์คาดว่าจะปรับปรุงความทนทานต่อแสงของสิ่งพิมพ์ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Brinker C.J. and Scherer G.W., *SOL-GEL SCIENCE The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. United State of America: Academic Press, 1990.
2. Sakka S., *Rheology of sols in the Sol-Gel processing*, Sol-Gel Science and Technology edited by M.A. Aegerter, M. Jafellicci Jr., D.F. Souza, E.D. Zanotto, Singapore: World Scientific Publishing, 1989: 76-102.
3. Le H. P., Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology, *Journal of Imaging Science and Technology* 42 (1998): 49-62.
4. Diamond A. S. and Weiss D. S., *Handbook of Imaging Materials*. second edition. New York: Marcel Dekker, 2002.
5. Badescu V., Radu M., Zaharescu M. and Vasilescu A., Hydrolysis-Condensation of Tetraethoxysilane in Nonparental Solvents Studied by GC-MS, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 2 (1984): 43-49.
6. Yoldas B., Design of Sol-Gel Coating Media for Ink-Jet Printing, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 13 (1998): 147-152.
7. Chapman D.M. and Michos D., Novel Silica Gels for Glossy, Ink-Receptive Coatings, *Journal of Imaging science and technology* 44 (2000): 418-422.
8. Mahltig B. and Böttcher H., Modified Silica Sol Coatings for Water-Repellent Textiles, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 27 (2003): 43-52.
9. Jeong H. J., Kim D. K., Lee S. B., Kwon S. H. and Kadono K., Preparation of Water-Repellent Glass by Sol-Gel Process Using Perfluoroalkylsilane and Tetraethoxysilane, *Journal of Colloid and Interface Science* 235 (2001): 130-134.
10. Kim M. S., Seok S. I., Ahn B. Y., Koo S. M. and Paik S. U., Encapsulation of Water-Soluble Dye in Spherical Sol-Gel Silica Matrices, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 27 (3) (2003): 355-361.
11. Böhmer M.R. and Keursten T.A.P.M., Incorporation of Pigments in TEOS Derived Matrices, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 19 (2000): 361-364.

12. Atkinson A., Doorbar J., Hudd A., Segel D.L. and White P.J., Continuous Ink-jet Printing Using Sol-Gel "Ceramic" Inks, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 8 (1997): 1093-1097.
13. Atkinson A. and Segel D.L., Some Recent Developments in Aqueous Sol-Gel Processing, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 13 (1998): 133-139.
14. DeBeor, Charles D., Fleissig and Judith L., Imaging and printing methods to form imaging member by formation of insoluble crosslinked polymeric sol-gel matrix, *United States Patent*, October 26, 1999: 5,970,873.
15. Danzebrink R. and Aegerter M.A., Deposition of micropatterned coating using an ink-jet technique, *Thin Solid Films* 351 (1999): 115-118.
16. Ding X., Li Y., Wang D. and Yin Q., Preparation of $(\text{Ba}_x \text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ sols used for ceramic film jet-printing, *Materials Science and Engineering B99* (2003): 502-505.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูภูมิ จรุงวรธนะ เกิดวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2523 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญา มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการ พิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย