

ผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีต่อการแห้งบนพลาสติก

นายสมเกียรติ ละวะวิบูลย์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PHOTOINITIATOR IN UV SCREEN PRINTING INK ON DRYING
OVER PLASTIC



Mr. Somkiat Lawawiboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology
Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic Year 2007


Copyright of Chulalongkorn University

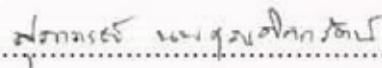
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสารเริ่มปฏิบัติการเชิงแสงในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีต่อการแห้ง
บนพลาสติก
โดย นายสมเกียรติ ณะวิบูลย์
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิถรัตน์

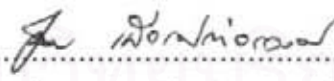
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิถรัตน์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุธา เกียรติกำจรวงศ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

สมเกียรติ ลวะวิบูลย์ : ผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีต่อการแห้งบนพลาสติก.(EFFECTS OF PHOTOINITIATOR IN UV SCREEN PRINTING INK ON DRYING OVER PLASTIC) อ. ที่ปรึกษา : ศศ.ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์, 107 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวีโดยศึกษาผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงสองชนิด ได้แก่ อีร์กาเคียวร์ 2100 (Irgacure 2100) และ คาโรเคียวร์ 1173 (Darocur 1173) ต่อการแห้งบนพลาสติก การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทำโดยใช้การออกแบบของผสมแบบชิมเพล็กแลตทิสใช้สูตรหมึก 10 สูตรสำหรับสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงแต่ละชนิด โดยแต่ละสูตรมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของมอนอเมอร์ โอลิโกเมอร์ และสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง นำหมึกพิมพ์ที่ได้มาพิมพ์ผ่านสกรีนพื้นทึบแล้ววัดพลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง ความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มโดยวิธี Scratch Test และความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนพลาสติกโดยการวัด Z-Direction Tensile Strength แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้เมื่อใช้สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงแต่ละชนิด นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมขององค์ประกอบทั้งสามในหมึกพิมพ์ที่ให้สมบัติของหมึกพิมพ์ตามขอบเขตที่กำหนดโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลของผสม จากนั้นนำหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ตามสัดส่วนที่ได้จากผลการวิเคราะห์และหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามาวัดพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์ม ความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์ม (Scratch Test และ Pencil Test) ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนพลาสติก ความแข็งแรงในการยึดติดของชั้นฟิล์มบนพลาสติกด้วยการใช้เทปกาว (Tape Test) และค่าความมันวาวของชั้นฟิล์ม แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทั้งสองชนิด จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดคือ ความคมชัดของตัวอักษรและเส้น และความทนทานต่อแสง (Light Fastness) จากผลการทดลองพบว่า อีร์กาเคียวร์ 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ให้สมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ดีกว่าคาโรเคียวร์ 1173 ในทุกด้าน โดยสูตรหมึกที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณคือ สูตรที่ใช้อัตราส่วนของมอนอเมอร์ : โอลิโกเมอร์ : อีร์กาเคียวร์ 2100 เป็น 1.0 : 2.6 : 0.36 โดยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความทนต่อการขีดข่วนสูงกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้าและไม่ระคายเคืองต่อผู้ใช้ ถึงแม้ใช้พลังงานรังสียูวีในการแห้งของชั้นฟิล์มมากกว่า และมีการยึดติดคีน้อยกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า สิ่งพิมพ์ที่พิมพ์จากหมึกพิมพ์ทางการค้ามีการแผ่ออกของหมึกน้อยกว่าหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ แต่หมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีความทนทานต่อแสงสูงกว่าและมีความมันวาวคงเหลือหลังฉายแสงมากกว่า

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2550

4872488323 : MAJOR Imaging Technology

KEY WORD: SCREEN PRINTING / UV INK / PHOTOINITIATOR

SOMKIAT LAWAWIBOON : EFFECTS OF PHOTOINITIATOR IN UV SCREEN PRINTING INK ON DRYING OVER PLASTIC. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUPAPORN NOPPAKUNDILOKRAT, Ph.D., 107 pp.

This research aimed to study the effects of two kinds of photoinitiators, namely Irgacure 2100 and Darocur 1173, on the drying of ink film on plastic. The preparation of UV screen printing ink was directed by the simplex lattice mixture design. Ten ink formulations for each photoinitiator were designed varying the ratio of monomer, oligomer and photoinitiator. Each ink formulation was printed through screen fabric on solid image area and then exposed with UV irradiation. The ink film properties, exposing UV curing energy, scratch test and z-direction tensile strength, were investigated and compared between each photoinitiator. The optimal ratio of the monomer, oligomer and photoinitiator in UV screen printing ink was determined by choosing the minimum and maximum acceptable values of those three responses. After preparing an optimal ink formulation as following Minitab program, the prepared ink and a commercial UV screen printing ink were investigated for the exposed UV curing energy, scratch test, pencil test, z-direction tensile strength, tape test and gloss. All above properties of the prepared ink were compared to those of the commercial ink. Moreover, print quality in terms of sharpening of letters and lines, and light fastness of the prepared ink were measured and compared with the commercial ink. From the results, the ink formulations containing Irgacure 2100 photoinitiator gave the better ink film properties than those of Darocur 1173. The optimum ink formulation determined using mixture design method was obtained by incorporating with Ebecryl 145 : Ebecryl 284 : Irgacure 2100 of 1 : 2.6 : 0.36. The prepared ink had advantages over the commercial ink in scratch resistance and non-irritant, although it needed higher UV energy for curing and slightly less adhesion. In addition, the ink spreading of letters and lines printed by the commercial ink were less than that of the present ink. However, light fastness property and retent gloss of the present ink was better than those of the commercial ink.

Department Imaging and Printing Technology

Field of study Imaging Technology

Academic year 2007

Student's signature.....

Advisor's signature..... Supaporn Noppakundilokrat

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิถรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำในเรื่องการทดลองและการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อรัญ หาญสืบสาย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์ และผศ.ดร.พิชญุดา เกตุเมฆ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิชญุดา เกตุเมฆ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมมินิแทบที่ใช้ในงาน

ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีและเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ได้แก่ คุณสุรศักดิ์ ฐิติรุ่งโรจน์กุล จาก Cytec Surface Specialities Co.,Ltd. ผู้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี Ebecryl 145 Ebecryl 284 และ TPGDA คุณสุวิทย์ อลงกรณ์โชติกุล จาก Ciba Specialty Chemicals Co.,Ltd. ผู้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี Irgacure 2100 คุณกานต์ ทรงวุฒิวิชัย จาก Connell Brothers Co.(Thailand), Ltd. ผู้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี Antifoam A และ Z6040 คุณเกียรติศักดิ์ นภลัย จาก Clariant Chemicals Co.,Ltd. ผู้ให้ความอนุเคราะห์สารสี Hostaperm Blue B2G คุณพรทิพย์ ล้วนประพันธ์ จาก The East Asiatic (Thailand) Public Co., Ltd. ผู้ให้ความอนุเคราะห์สารสี carbon black คุณณรงค์ จุงสกุลนิรันดร์ จากบริษัท แอนวิล (ไทย) จำกัด ผู้ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง three roll mills คุณเอกรินทร์ จิระกรานนท์ จากบริษัท วินสันสกριν จำกัด ผู้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอบรังสียูวี คุณบัญญัติ มณีดิษฐ์ จาก บริษัท ทีไอเอ จำกัด ผู้ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง scratch test คุณวัลลภ แซ่โล้ว จาก BSA Ink Industry Co.,Ltd. ผู้ให้ความช่วยเหลือในการวัดความทนทานต่อแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ และคุณภาสกร วุนวิริยะกิจ จากบริษัท เมโทรห่ม สยาม จำกัด ผู้ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง rheometer

ขอขอบคุณนางอารมณี ศิริประภาภรณ์ พนักงานธุรการภาควิชา ฯ ผู้ให้ความช่วยเหลือเรื่องการออกเอกสารต่างๆ ในการดำเนินงาน นางสาวประอร ณ นคร มหบัณฑิตสาขาวิชาปิโตรเคมี ผู้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการทดลองและการทดสอบต่างๆ ในงานวิทยานิพนธ์ และนายจุฬพงษ์ พานิชเกรียงไกร มหบัณฑิตภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำงานวิจัยและติดต่อบริษัทต่างๆ

และขอขอบพระคุณพ่อแม่ที่ให้โอกาสในการศึกษาจนถึงระดับปริญญาโท และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	2
2.1.1 ระบบการพิมพ์สกรีน (Screen Printing).....	2
2.1.1.1 ผ้าสกรีน (Screen Fabric).....	3
2.1.1.2 กรอบสกรีน.....	4
2.1.1.3 ยางปาด (Squeegee).....	4
2.1.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ยูวี.....	8
2.1.2.1 มอนอเมอร์ (Monomer).....	8
2.1.2.2 โอลิโกเมอร์ (Oligomer).....	10
2.1.2.3 สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง (Photoinitiator).....	11
2.1.2.4 สารให้สี (Colorant).....	15
2.1.2.5 สารเติมแต่ง (Additives).....	16
2.1.3 การเตรียมหมึกพิมพ์ยูวี.....	17
2.1.4 การแห้งของหมึกด้วยรังสียูวี.....	18
2.1.5 การออกแบบของผสม (Mixture Design).....	20
2.1.6 สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์สกรีน.....	25
2.1.7 แรงตึงผิว (Surface Tension).....	26
2.1.7.1 มุมสัมผัส (Contact Angle).....	27

2.1.7.2 พลังงานผิววิกฤติ (Critical Surface Tension).....	29
2.1.8 การทดสอบการเกิดฟิล์มของหมึกพิมพ์ยูวี.....	30
2.1.8.1 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงมุมฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโกปี (Fourier Transformation Infrared Spectroscopy).....	30
2.1.8.2 การวัดความมันวาว.....	30
2.1.8.3 การวัดความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนพลาสติก (Z-Direction Tensile Strength).....	30
2.1.8.4 การทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มด้วยเทปกาว (Tape Test).....	30
2.1.8.5 การทดสอบความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มด้วยดินสอ (Pencil Test).....	30
2.1.8.6 การทดสอบความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มด้วยวิธีScratch Test.....	31
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	34
3.1.1 สารเคมี.....	34
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	36
3.2.1 การวัดพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก.....	36
3.2.2 การบดสารสีสำหรับหมึกพิมพ์สกรีนยูวี.....	37
3.2.3 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของEbecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator.....	39
3.2.4 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีด้วยการออกแบบของผสม และทดสอบ ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์.....	40
3.2.5 การคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	42
3.2.6 การเตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบสมบัติของ ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์.....	43

3.2.7 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR Spectroscopy).....	46
3.2.8 การวิเคราะห์คุณภาพสิ่งพิมพ์.....	47
3.2.8.1 การทดสอบความคมชัด.....	47
3.2.8.2 การทดสอบความทนทานต่อแสง.....	49
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
4.1 พลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก.....	51
4.2 เตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวี.....	52
4.3 การหาช่วงปริมาณที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator สำหรับการออกแบบของผสม.....	53
4.4 สมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ของสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการออกแบบ ของผสม.....	55
4.5 การคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	58
4.6 เตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบการเกิดชั้นฟิล์มหมึก พิมพ์.....	60
4.7 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการฉายรังสียูวี.....	65
4.8 วิเคราะห์คุณภาพสิ่งพิมพ์.....	68
4.8.1 การคำนวณร้อยละการแผ่ของหมึก.....	69
4.8.2 ความทนทานต่อแสงของหมึกพิมพ์.....	88
4.9 การเปรียบเทียบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ ทางการค้า.....	94
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	95
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	95
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 เบอร์ผ้าสกรีนและชนิดของงานพิมพ์ที่เหมาะสม.....	3
ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของกรอบสกรีนชนิดต่างๆ.....	4
ตารางที่ 3 ผลของจำนวนหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของชั้นฟิล์ม.....	9
ตารางที่ 4 สมบัติของโอลิโกเมอร์แต่ละชนิด.....	10
ตารางที่ 5 สมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้จากโอลิโกเมอร์แต่ละชนิด.....	11
ตารางที่ 6 สูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสำหรับพิมพ์พีวีซี.....	16
ตารางที่ 7 สูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสำหรับพิมพ์พีวีซี.....	17
ตารางที่ 8 สัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบในการออกแบบแบบซึมเพล็กแลตทิส 3 องค์ประกอบ 2 ระดับ.....	24
ตารางที่ 9 แรงตึงผิวของสารละลายชนิดต่างๆ.....	27
ตารางที่ 10 ค่าแรงตึงผิวของน้ำและไดโอะโอดิเมเทน.....	29
ตารางที่ 11 สัดส่วนของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสูตรต่างๆ.....	41
ตารางที่ 12 ระดับการยึดติดของชั้นฟิล์มจากการทดสอบ Tape Test.....	44
ตารางที่ 13 มุมสัมผัสของน้ำและไดโอะโอดิเมเทนบนแผ่นอะคริลิก.....	51
ตารางที่ 14 มุมสัมผัสบนแผ่นอะคริลิกของของเหลวชนิดต่างๆ.....	51
ตารางที่ 15 ขนาดอนุภาคของสารสีภายหลังการบดด้วย three-roll mills ที่จำนวนรอบต่างๆ.....	52
ตารางที่ 16 การแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีปริมาณของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator ต่างๆ.....	53
ตารางที่ 17 พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สูตร ที่มี Irgacure 2100.....	55
ตารางที่ 18 พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สูตร ที่มี Darocur 1173.....	56
ตารางที่ 19 สมบัติของตัวแปรจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	58
ตารางที่ 20 สูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	60
ตารางที่ 21 ความหนืดของสูตรหมึกที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทบและหมึกสกรีนยูวีทางการ ค้า.....	60
ตารางที่ 22 มุมสัมผัสของน้ำและไดโอะโอดิเมเทนบนพื้นผิวชั้นฟิล์มของหมึกสกรีนยูวีที่เตรียม ได้และหมึกทางการค้า.....	62

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 23 สมบัติของชั้นฟิล์มของสูตรหมึกที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทบและหมึกสกรีน ยูวีทางการค้า.....	63
ตารางที่ 24 ผลงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์ม ที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่ทำนายจากโปรแกรมมินิแทบ.....	64
ตารางที่ 25 พื้นที่ได้ฟิคก่อนและหลังฉายรังสียูวี และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะคริเลต....	66
ตารางที่ 26 ร้อยละการแผ่ของหมึกจากการพิมพ์บนแผ่นอะคริลิกด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียม ได้และหมึกทางการค้า.....	87
ตารางที่ 27 ตำแหน่งเลขคลื่นและพันธะต่างๆ ภายในคอปเปอร์ทาไลโซยานินและสารสีที่สกัด ได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้า.....	89
ตารางที่ 28 การเปลี่ยนแปลงสีหลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 500 ชั่วโมง.....	92
ตารางที่ 29 การเปลี่ยนแปลงสีหลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 1000 ชั่วโมง.....	92
ตารางที่ 30 การเปลี่ยนแปลงความมันวาวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 500 ชั่วโมง.....	93
ตารางที่ 31 การเปลี่ยนแปลงความมันวาวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 1000 ชั่วโมง.....	93
ตารางที่ 32 เปรียบเทียบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการ ค้า.....	94

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1 ระบบการพิมพ์สกรีน.....	2
ภาพที่ 2 ยางปาดทรงสี่เหลี่ยม.....	5
ภาพที่ 3 ยางปาดทรงสี่เหลี่ยมมุมมน.....	5
ภาพที่ 4 ยางปาดรูปทรงตัวยู.....	6
ภาพที่ 5 ยางปาดรูปทรงเฉียงข้างเดียว.....	6
ภาพที่ 6 ยางปาดรูปทรงเฉียงสองข้าง.....	6
ภาพที่ 7 ยางปาดรูปทรงเฉียงสองข้างปลายมน.....	7
ภาพที่ 8 ยางปาดทรงข้าวหลามตัด.....	7
ภาพที่ 9 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่อะคริเลตต่างๆ กันหลัง การฉายรังสียูวี.....	8
ภาพที่ 10 สูตร โครงสร้างของ Ebecryl 145.....	10
ภาพที่ 11 สูตร โครงสร้างของ TPGDA.....	10
ภาพที่ 12 สูตร โครงสร้างโดยทั่วไปของ Ebecryl 284.....	11
ภาพที่ 13 สูตร โครงสร้างของ Irgacure 2100.....	13
ภาพที่ 14 ช่วงการดูดกลืนแสงของ Irgacure 2100.....	13
ภาพที่ 15 สูตร โครงสร้างของ Darocur 1173.....	14
ภาพที่ 16 ช่วงการดูดกลืนแสงของ Darocur 1173.....	14
ภาพที่ 17 โครงสร้าง โดยทั่วไปของบีตาทาลไฮไซยานินบลู.....	15
ภาพที่ 18 การดูดกลืนแสงของ Hostaperm Blue B2G ในเอทิลีนไกลคอล.....	15
ภาพที่ 19 Three-roll mills.....	18
ภาพที่ 20 ไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต (Trilinear co-ordinate).....	22
ภาพที่ 21 การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซสำหรับ 3 และ 4 องค์กรประกอบ.....	23
ภาพที่ 22 การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ 2 ระดับที่รวมจุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (center points) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดที่มุมและจุดตรงกลาง (axial points).....	24
ภาพที่ 23 การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์เซ็นทรอยด์ (Simplex Centroid Design).....	25
ภาพที่ 24 การไหลแบบทิกโซโทรปี.....	26
ภาพที่ 25 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว.....	27
ภาพที่ 26 มุมสัมผัสที่เกิดจากสมมูลของแรงระหว่างสามวัตถุ.....	28
ภาพที่ 27 การหาค่าแรงดึงผิววิกฤตด้วยวิธีของซีสแมน.....	29

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 28 เครื่องทดสอบความทนต่อการขีดข่วน Scratch Tester.....	31
ภาพที่ 29 การวัดพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก.....	37
ภาพที่ 30 การบดสารสีสำหรับหมึกพิมพ์สกรีนยูวี.....	38
ภาพที่ 31 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator.....	40
ภาพที่ 32 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีด้วยการออกแบบของผสมและทดสอบชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์.....	42
ภาพที่ 33 การคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	43
ภาพที่ 34 การเตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์.....	46
ภาพที่ 35 เส้นขนาดต่างๆ แบบพอลิทีฟและเนกาทีฟ.....	47
ภาพที่ 36 ตัวอักษรแบบพอลิทีฟและเนกาทีฟ.....	47
ภาพที่ 37 การทดสอบความคมชัด.....	48
ภาพที่ 38 การทดสอบความทนทานต่อแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์.....	50
ภาพที่ 39 พลังงานผิววิกฤติของแผ่นอะคริลิก.....	52
ภาพที่ 40 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 100 เท่าของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง.....	57
ภาพที่ 41 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 100 เท่าของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ใช้ Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง.....	57
ภาพที่ 42 ขอบเขตของสูตรหมึกที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	59
ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าและหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้.....	61
ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าและหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้.....	61
ภาพที่ 45 พันธะภายในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้.....	65
ภาพที่ 46 อินฟราเรดสเปกตรัมของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีก่อนและหลังฉายรังสียูวี.....	66
ภาพที่ 47 กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ Irgacure 2100 และ Ebecryl 284.....	67
ภาพที่ 48 ภาพถ่ายปกติของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	68

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 49 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 100 เท่าของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ.....	68
ภาพที่ 50 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 6 พอยท์แบบพอลิทีฟ.....	69
ภาพที่ 51 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 10 พอยท์แบบพอลิทีฟ.....	70
ภาพที่ 52 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 6 พอยท์แบบเนกาทีฟ.....	72
ภาพที่ 53 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 10 พอยท์แบบเนกาทีฟ.....	73
ภาพที่ 54 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 6 พอยท์แบบพอลิทีฟ.....	75
ภาพที่ 55 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 10 พอยท์แบบพอลิทีฟ.....	76
ภาพที่ 56 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 8 พอยท์แบบเนกาทีฟ.....	78
ภาพที่ 57 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 10 พอยท์แบบเนกาทีฟ.....	79
ภาพที่ 58 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแนวนอนขนาด 1 พอยท์แบบพอลิทีฟ.....	81
ภาพที่ 59 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแนวนอนขนาด 1 พอยท์แบบเนกาทีฟ.....	82
ภาพที่ 60 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแนวตั้งขนาด 1 พอยท์แบบพอลิทีฟ...84	
ภาพที่ 61 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแนวตั้งขนาด 1 พอยท์แบบเนกาทีฟ...85	
ภาพที่ 62 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ Hostaperm Blue B2G และสารสีที่สกัดได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้า.....	88
ภาพที่ 63 การดูดกลืนแสงของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้า.....	91

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันหมึกพิมพ์ยูวีมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการพิมพ์ระบบต่างๆ สำหรับหมึกพิมพ์สกรีนยูวีโดยมากใช้ในการพิมพ์ป้าย ซึ่งมีข้อดีในเรื่องความทนทานต่อแสง นอกจากนี้ยังสามารถแห้งได้เร็ว เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันเชิงแสงและสร้างพันธะเชื่อมขวางระหว่างองค์ประกอบภายใน ความเร็วในการแห้งของชั้นฟิล์มขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งคือสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงต่างชนิดกันมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน และมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันเชิงแสงที่แตกต่างกัน บางชนิดช่วยในการแห้งด้านบนของชั้นฟิล์ม บางชนิดช่วยในการแห้งด้านล่างของชั้นฟิล์ม นอกจากนี้ปริมาณของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงยังมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของชั้นฟิล์ม โดยปริมาณของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่มากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้ความเร็วในการแห้งของหมึกพิมพ์ลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวี โดยศึกษาผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงต่อการแห้งของหมึกพิมพ์ โดยทำการเปรียบเทียบผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงสองชนิด นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ด้วย เช่น มอนอเมอร์ โอลิโกเมอร์ และสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง เป็นต้น จากนั้นนำไปพิมพ์บนแผ่นพลาสติกแล้วทดสอบการแห้งของชั้นฟิล์ม ความแข็งแรงของชั้นฟิล์ม การยึดติด และความทนทานต่อแสงโดยเปรียบเทียบคุณภาพของหมึกที่เตรียมได้กับหมึกทางการค้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีต่อการแห้งของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีบนพลาสติก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชนิดของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงและสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆ ที่เหมาะสมในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีบนพลาสติก

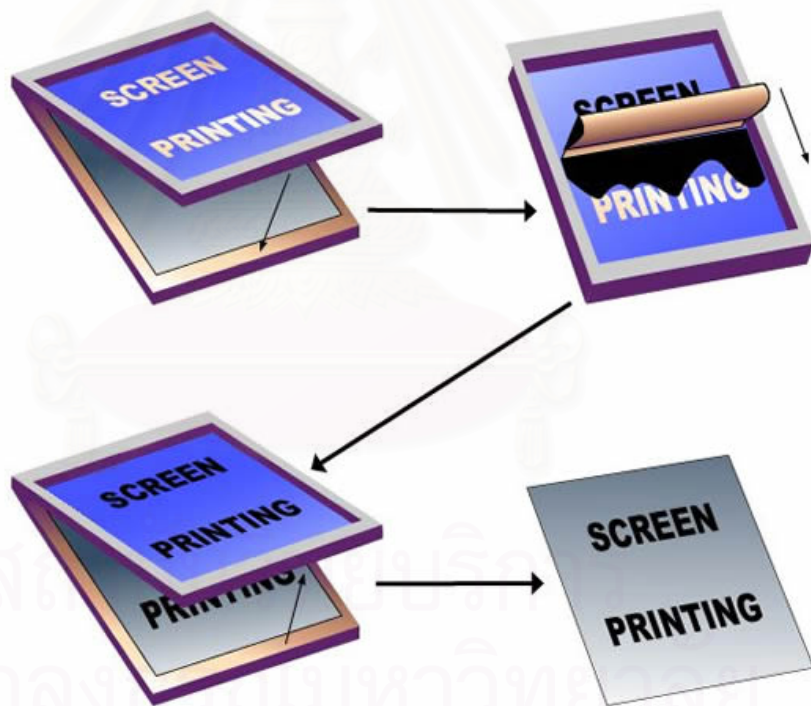
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ระบบการพิมพ์สกรีน (Screen Printing)

การพิมพ์ซิลค์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์ที่ใช้หลักการปาดสีหรือหมึกพิมพ์ผ่านช่องเปิดของผ้าสกรีนที่ขึงตึงบนกรอบที่ทำขึ้นดังภาพที่ 1 การสร้างภาพบนผ้าสกรีนสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่สะดวกและได้ภาพที่มีความละเอียด คือ การฉายแสงผ่านฟิล์มต้นฉบับไปยังผ้าสกรีนซึ่งมีการเคลือบสารไวแสง แสงทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารไวแสงบนผ้าสกรีน เมื่อนำไปล้างในน้ำยาสร้างภาพส่วนที่เป็นภาพถูกล้างออกไป หมึกจึงสามารถทะลุผ่านช่องเปิดของผ้าไปยังวัสดุพิมพ์ได้ เมื่อทำการปาดหมึกโดยใช้ยางปาด [1]



ภาพที่ 1 ระบบการพิมพ์สกรีน [2]

ระบบการพิมพ์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์ที่ทำได้ง่าย สามารถทำได้ทั้งในระดับครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ระบบการพิมพ์สกรีนยังมีข้อดีอีกหลายอย่าง ได้แก่ สามารถพิมพ์บนวัสดุได้หลายประเภท พิมพ์ได้ในปริมาณน้อย วัสดุอุปกรณ์หาได้ง่าย ราคาถูก และขั้นตอนไม่ยุ่งยาก สามารถเตรียมการพิมพ์และทำการพิมพ์ได้ง่าย

2.1.1.1 ผ้าสกรีน (Screen Fabric)

ผ้าสกรีนที่ใช้ทั่วไปมี 3 ชนิดคือ ผ้าไหม ผ้าใยสังเคราะห์ และผ้าใยโลหะ [3, 4] ในปัจจุบันไม่นิยมใช้ผ้าไหมเนื่องจากมีการดูดความชื้นในอากาศมากถึงร้อยละ 30 และไม่ทนต่อสารเคมี จึงเปลี่ยนมาใช้ผ้าใยสังเคราะห์แทน ผ้าใยสังเคราะห์มี 2 ชนิด คือ ไนลอนและพอลิเอสเตอร์ ผ้าสกรีนที่เหมาะสมกับการพิมพ์สกรีนด้วยหมึกพิมพ์ยูวีคือผ้าพอลิเอสเตอร์ [3]

2.1.1.1.1 เบอร์ผ้าสกรีน

เบอร์ผ้า หมายถึง ความละเอียดของผ้าสกรีน โดยวัดจากจำนวนเส้นด้ายต่อพื้นที่ 1 ตร.ซม. ยกตัวอย่างเช่น ผ้าสกรีนเบอร์ 36 หมายความว่าใน 1 ตร.ซม. มีจำนวนเส้นด้ายในแนวตั้งและแนวนอนอย่างละ 36 เส้น เบอร์ผ้าที่สูงขึ้นบ่งบอกถึงความละเอียดของผ้าสกรีนที่เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงว่าขนาดรูเปิดเล็กลง นอกจากความถี่ของเส้นด้ายไม่เท่ากันแล้ว ขนาดของเส้นด้ายในผ้าสกรีนยังมีขนาดต่างๆ ได้แก่ ขนาดเล็ก (S หรือ Small) ขนาดกลาง (M หรือ Medium) ขนาดหนา (T หรือ Thick) และขนาดใหญ่ (HD หรือ Heavy Duty) เป็นต้น [4] การเรียกเบอร์ผ้าสกรีนจะเรียกตามจำนวนเส้นด้ายตามความยาวซึ่งแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเมตริก นับจำนวนเส้นใยต่อ 1 ตร.ซม. และระบบนิ้ว นับจำนวนเส้นใยต่อ 1 ตร.นิ้ว โดยทั่วไปมักระบุทั้งสองระบบคู่กัน เช่น 24/61 คือผ้าสกรีนที่มีจำนวนเส้นด้าย 24 เส้นต่อตร.ซม. และ 61 เส้นต่อตร.นิ้ว ผ้าสกรีนเบอร์สูงเหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการความละเอียดมากในขณะที่ผ้าสกรีนเบอร์ต่ำจะเหมาะกับงานพิมพ์ที่ไม่ต้องการรายละเอียดมากนัก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เบอร์ผ้าสกรีนและชนิดของงานพิมพ์ที่เหมาะสม [5]

เบอร์ผ้า	ชนิดของงาน
24/61	งานที่มีรายละเอียดไม่มาก เช่น งานพิมพ์ผ้า เสื้อยืด หรืองานที่พิมพ์บนวัสดุผิวขรุขระที่มีการดูดซึมดี
49/125	
77/196	งานที่ต้องการความประณีต มีการแสดงน้ำหนักของสี หรืองานประเภทกราฟิก เช่น บัตรอวยพร ปกหนังสือ โปสเตอร์ที่ต้องการแสดงรายละเอียดมาก หรืองานที่พิมพ์บนวัสดุผิวเรียบมันที่มีการดูดซึมน้อย
90/230	
100/155	
150/380	งานที่ต้องการความละเอียดประณีตเป็นพิเศษ
200/510	

2.1.1.2 กรอบสกรีน

กรอบสกรีนมีสามชนิด คือ ไม้ เหล็ก และอะลูมิเนียม แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันดังตารางที่ 2 ขนาดของกรอบสกรีนต้องใหญ่กว่าแม่แบบเพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัด ควรวางแม่แบบตรงกลางแม่พิมพ์ เนื่องจากเป็นบริเวณที่ผ้าสกรีนมีความตึงสม่ำเสมอมากที่สุด และเป็นส่วนที่แรงปาดจากยางปาดลงได้สม่ำเสมอที่สุด โดยทั่วไปนิยมให้กรอบสกรีนกว้างกว่าแม่แบบประมาณ 2-3 นิ้วทางด้านข้าง และยาวกว่าแม่แบบทางด้านบนและล่างประมาณ 3-4 นิ้ว

ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของกรอบสกรีนชนิดต่างๆ [3]

ชนิดของกรอบสกรีน	ข้อดี	ข้อเสีย
ไม้	- ราคาถูก - น้ำหนักเบา - มีผิวที่สามารถยึดเกาะได้ดี และสามารถใช้ลวดเย็บได้	- พองหรือโค้งงอได้ง่าย - อายุการใช้งานสั้น - ไม่เหมาะกับการใช้งานขนาดใหญ่
เหล็ก	- ทนทาน ไม้โค้งงอ - อายุการใช้งานนาน - ราคาถูก - แข็งแรง ทนต่อแรงภายนอกได้ดี	- หนัก - ขึ้นสนิมได้
อะลูมิเนียม	- น้ำหนักเบา ง่ายต่อการใช้งาน - ไม่ขึ้นสนิม - เหมาะสำหรับงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง	- ราคาแพง - ไม่ทนต่อกรดหรือด่าง - ต้องใช้ขนาดพื้นที่กว้างกว่ากรอบสกรีนชนิดเหล็กเพื่อขึงผ้าสกรีนให้ได้ความตึงที่เท่ากัน

2.1.1.3 ยางปาด (Squeegee)

ยางปาดเป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการพาหมึกผ่านผ้าสกรีนไปยังวัสดุพิมพ์ ในขั้นตอนการพิมพ์สกรีนนั้น หมึกพิมพ์จะได้รับแรงกดจากยางปาดให้ลอดผ่านรูสกรีนไปยังวัสดุพิมพ์ได้ ยางปาดมีหลายรูปทรงและความแข็งต่างๆ กัน ซึ่งเหมาะกับลักษณะงานที่แตกต่างกัน การเลือกชนิดของยางปาดจึงมีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ที่ได้ วัสดุสำหรับทำยางปาดควรมีความทนทานต่อน้ำมันผสมในหมึกพิมพ์ สำหรับหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย วัสดุที่นิยม

ใช้ทำยางปาดคือ พอลิยูรีเทน (polyurethane) ส่วนหมึกพิมพ์ฐานน้ำ เช่น หมึกพิมพ์ผ้า สามารถนำยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์มาทำยางปาดได้

2.1.1.3.1 รูปทรงของยางปาด

ยางปาดมีรูปทรงต่างๆ กันซึ่งเหมาะกับงานแต่ละประเภท ได้แก่

2.1.1.3.1.1 รูปทรงสี่เหลี่ยม (Square-Edge) เหมาะสำหรับพิมพ์บนวัสดุผิวเรียบ เช่น กระดาษ พลาสติก โลหะ แก้ว และเซรามิก [3, 6] ที่ต้องการให้หมึกลงปริมาณน้อย ภาพพิมพ์ที่ได้มีความคมชัดสูง [3, 7] รูปทรงของยางปาดทรงสี่เหลี่ยมแสดงดังภาพที่

2



ภาพที่ 2 ยางปาดทรงสี่เหลี่ยม [8]

2.1.1.3.1.2 รูปทรงสี่เหลี่ยมมุมมน (Square-Edge with Round Corners) เหมาะสำหรับพิมพ์บนวัสดุผิวเรียบ แต่ปริมาณหมึกที่ลงบนวัสดุพิมพ์มากกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยม [3] รูปทรงของยางปาดทรงสี่เหลี่ยมมุมมนแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ยางปาดทรงสี่เหลี่ยมมุมมน

2.1.1.3.1.3 รูปทรงตัวยู (Round Edge) เหมาะสำหรับการพิมพ์
 ฟ้าที่ต้องการปริมาณหมึกมาก [6, 7] แต่มีข้อเสียคือความคมชัดของภาพพิมพ์ที่ได้ต่ำ [3, 7] รูปทรง
 ของยางปาดทรงตัวยูแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ยางปาดรูปทรงตัวยู

2.1.1.3.1.4 รูปทรงเฉียงข้างเดียว (Single-Sided Bevel Edge)
 เหมาะกับงานที่พิมพ์บนวัสดุที่มีผิวแข็ง เช่น กระดาษ หรืองานพิมพ์ที่ใช้หมึกที่มีลักษณะข้นเหนียว
 มาก [3, 7] รูปทรงของยางปาดทรงเฉียงข้างเดียวแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ยางปาดรูปทรงเฉียงข้างเดียว [9]

2.1.1.3.1.5 รูปทรงเฉียงสองข้างหรือตัววี (Double-Sided Bevel
 Edge) เหมาะสำหรับการพิมพ์บนวัสดุที่มีรูปทรงไม่เป็นพื้นราบ เช่น วัสดุทรงกลม ทรงกระบอก ขวด
 แก้วพลาสติก เป็นต้น [3, 7] รูปทรงของยางปาดทรงเฉียงสองข้างแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ยางปาดรูปทรงเฉียงสองข้าง [9]

2.1.1.3.1.6 รูปทรงเงียงสองข้างปลายมน เหมาะสำหรับงานพิมพ์บนเซรามิก หรืองานพิมพ์ผ้าที่ต้องการหมึกปริมาณมาก [3] รูปทรงของยางปาดทรงเงียงสองข้างปลายมนแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ยางปาดรูปทรงเงียงสองข้างปลายมน

2.1.1.3.1.7 รูปทรงข้าวหลามตัด (Diamond-Shape) เหมาะสำหรับพิมพ์ภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่างๆ [3] รูปทรงของยางปาดทรงข้าวหลามตัดแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ยางปาดทรงข้าวหลามตัด [8]

2.1.1.3.2 ความแข็งของยางปาด

ความแข็งของยางปาดมีหน่วยเป็นคูโรมิเตอร์ (Durometer) ยางที่ใช้ความร้อนเคี้ยวที่อุณหภูมิสูงจะมีหน่วยวัดคูโรมิเตอร์สูงตามไปด้วย ยางที่ได้มีความแข็งแรงเหมาะสำหรับงานพิมพ์บนวัสดุผิวเรียบแข็งประเภทนามบัตร พลาสติก ไม้ ส่วนยางที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าคูโรมิเตอร์ต่ำ ยางที่ได้มีความอ่อนนุ่ม เหมาะกับวัสดุผิวอ่อนประเภทผ้า หลักเกณฑ์ในการเลือกความแข็งของยางปาดมีดังนี้

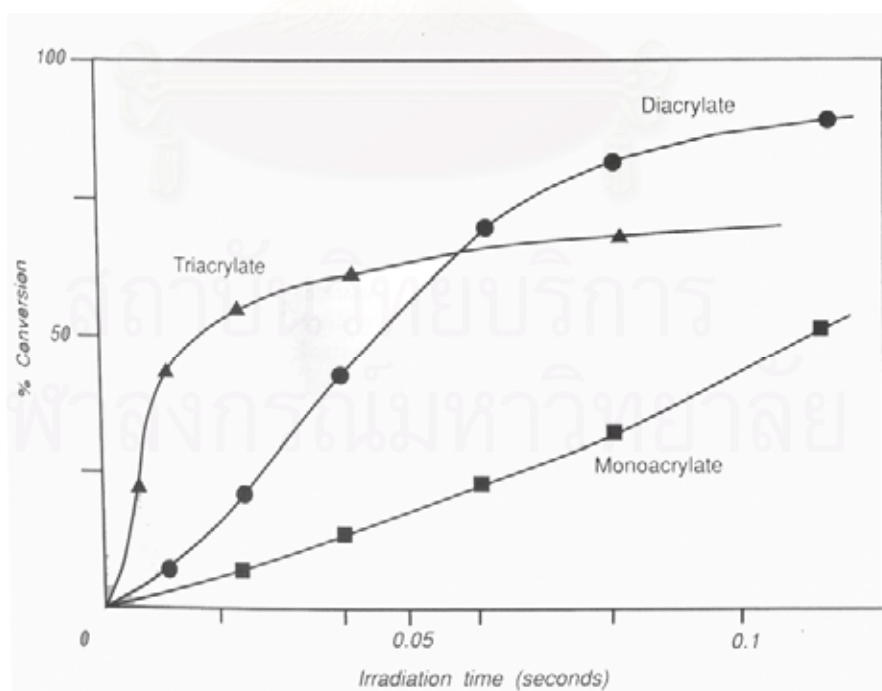
2.1.1.3.2.1 ยางปาดชนิดแข็ง มีความคงทนสูง เหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่มีความละเอียดสูง

2.1.1.3.2.2 ยางปาดชนิดอ่อน เหมาะสำหรับงานพิมพ์บนวัสดุผิวไม่เรียบ หรือต้องการปริมาณหมึกมาก

2.1.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ยูวี

หมึกพิมพ์สกรีนยูวีเป็นหมึกที่เริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นหมึกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีสารระเหยอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ โดยหมึกพิมพ์ยูวีประกอบด้วยองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คือ

2.1.2.1 มอนอเมอร์ (Monomer) เป็นสารโมเลกุลเล็กประเภทอะคริเลตหรืออีพอกซี โดยในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเชิงแสงแบบอนุมูลอิสระจะใช้มอนอเมอร์ประเภทอะคริเลต และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเชิงแสงแบบแคตไอออนจะใช้มอนอเมอร์ประเภทอีพอกซี มอนอเมอร์สามารถเกิดพันธะเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ได้โดยอาศัยสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงซึ่งมีทั้งแบบอนุมูลอิสระและแบบแคตไอออน ซึ่งต้องใช้ให้เหมาะสมกับมอนอเมอร์นั้น ในสูตรของสารเคลือบและหมึกพิมพ์ มอนอเมอร์ยังทำหน้าที่เป็นตัวเจือจาง (diluent) ด้วย [10] นอกจากนี้มอนอเมอร์ยังนับเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในหมึกพิมพ์ยูวีที่มีผลต่อความเร็วในการแห้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ มอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันน้อยมีความหนืดต่ำและมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันช้า ส่วนมอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันมากจะมีความหนืดสูงและมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเร็ว [10, 11] แต่มอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันน้อยจะมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน (% Conversion) สูงกว่ามอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันมาก ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่อะคริเลตต่างๆ กัน หลังการฉายรังสียูวี [10]

จากภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงมอดูลัสของมอดูลัสที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชัน 3 หมู่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุดเมื่อมีการฉายแสง แต่ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันต่ำกว่ามอดูลัสที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ และมอดูลัสที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชัน 1 หมู่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าที่สุด แต่มีแนวโน้มของร้อยละการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันสูงที่สุดซึ่งแนวโน้มของกราฟที่แสดงเกินจากขอบเขตของภาพที่ 9

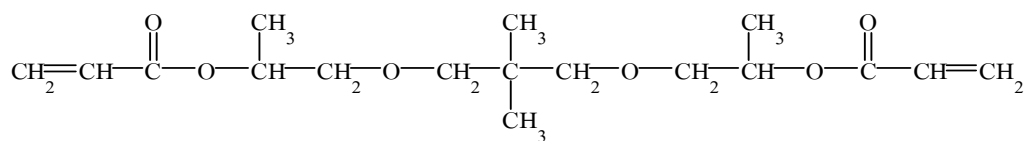
นอกจากนี้จำนวนหมู่ฟังก์ชันของมอดูลัสยังมีผลต่อสมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้ เช่น ความแข็งของชั้นฟิล์ม โดยความแข็งของชั้นฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (crosslink density) เพิ่มขึ้น ดังนั้นมอดูลัสที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันมากจะให้ชั้นฟิล์มที่แข็งแรงกว่ามอดูลัสที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันน้อย [10] ผลของจำนวนหมู่ฟังก์ชันของมอดูลัสต่อสมบัติทางกายภาพของชั้นฟิล์มแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของจำนวนหมู่ฟังก์ชันของมอดูลัสที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของชั้นฟิล์ม [10]

สมบัติของชั้นฟิล์ม	จำนวนหมู่ฟังก์ชัน	
	มาก	น้อย
ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)	เพิ่มขึ้น	ลดลง
การยืดตัว (Elongation)	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความแข็ง (Hardness)	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ความยืดหยุ่น (Flexibility)	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อการกระแทก (Impact Resistance)	ลดลง	เพิ่มขึ้น

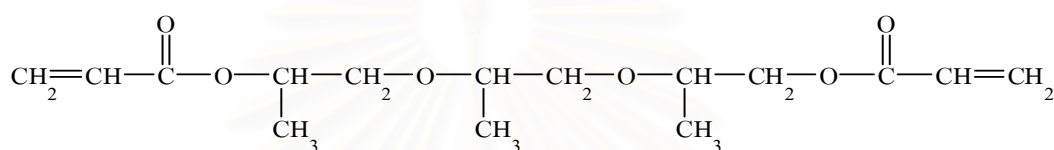
มอดูลัสที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นมอดูลัสที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ ได้แก่ โพรพ็อกซิลเตคไดอะเพนทิลไกลคอลไดอะคริเลต (propoxylated neopentyl glycol diacrylate) ชื่อทางการค้า คืออีบีคริล 145 (Ebecryl 145) และไตรโพรพิลีนไกลคอลไดอะคริเลต (tripropylene glycol diacrylate ; TPGDA)

Ebecryl 145 เป็นมอดูลัสที่มีสถานะเป็นของเหลวความหนืดต่ำ ใส มีกลิ่นคล้ายสารประกอบเอสเทอร์ ไม่เป็นพิษ สูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สูตรโครงสร้างของ Ebecryl 145 [12]

สำหรับ TPGDA ทำหน้าที่เป็นตัวเจือจางเพื่อปรับความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ได้ให้เหมาะสมโดยความหนืดของ TPGDA ที่ 25°C เท่ากับ 10.5 mPa s สถานะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายสารประกอบเอสเทอร์ โครงสร้างของ TPGDA แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สูตรโครงสร้างของ TPGDA [13]

2.1.2.2 โอลิโกเมอร์ (Oligomer) เป็นสารโมเลกุลใหญ่กว่ามอนอเมอร์และมีความหนืดมากกว่ามอนอเมอร์ [3] แต่ยังไม่เท่าพอลิเมอร์ ในสูตรของหมึกพิมพ์ยูวีนั้นโอลิโกเมอร์มีหน้าที่ช่วยให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดได้เร็วขึ้น ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระส่วนใหญ่โอลิโกเมอร์เป็นสารประเภทอะคริเลตซึ่งมีหลายประเภท แต่ละประเภทให้สมบัติของชั้นฟิล์มหลังการแห้งแตกต่างกัน เช่น อีพอกซีอะคริเลต (epoxy acrylate) เป็นโอลิโกเมอร์ที่ให้ชั้นฟิล์มที่แห้งได้เร็ว มีความมันวาวสูง ชั้นฟิล์มมีความแข็ง ทนทานต่อสารเคมี แต่ความสามารถในการเปียกผิวสารสีต่ำ และยูรีเทนอะคริเลต (urethane acrylate) ซึ่งสามารถเปียกผิวสารสีได้ดี ชั้นฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่น ยึดติดกับวัสดุรองรับได้ดี แห้งเร็ว มีทั้งชนิดอะลิฟาติกและแอโรมาติก แบบอะลิฟาติกให้ความทนทานต่อแสงดี ส่วนแอโรมาติกแห้งได้เร็วและได้ชั้นฟิล์มที่ยืดหยุ่น แต่ไม่ทนต่อแสงและเกิดสีเหลือง (yellowing) ได้เมื่อเวลาผ่านไป [10, 11] สมบัติของโอลิโกเมอร์และสมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้จากโอลิโกเมอร์แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

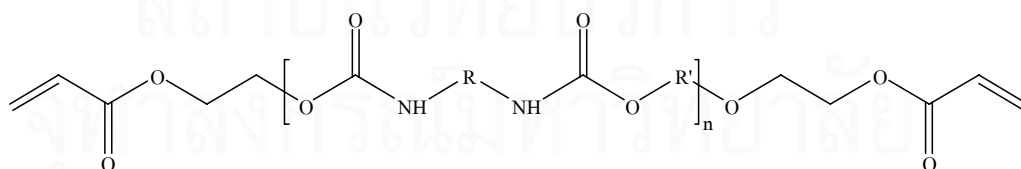
ตารางที่ 4 สมบัติของโอลิโกเมอร์แต่ละชนิด [10]

สมบัติ	อีพอกซีอะคริเลต	ยูรีเทนอะคริเลต	พอลิเอสเทอร์อะคริเลต
ความหนืด	สูง	สูง	ขึ้นกับชนิด
อัตราการเกิดปฏิกิริยา	เร็ว	ขึ้นกับชนิด	ขึ้นกับชนิด
ราคา	ถูก	แพง	ถูก

ตารางที่ 5 สมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้จากโพลิโกเมอร์แต่ละชนิด [10]

สมบัติ	อีพอกซีอะคริเลต	ยูรีเทนอะคริเลต	พอลิเอสเตอร์อะคริเลต
ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)	สูง	ขึ้นกับชนิด	ปานกลาง
ความยืดหยุ่น (Flexibility)	ต่ำ	สูง	ขึ้นกับชนิด
ความทนทานต่อ สารเคมี (Chemical Resistance)	สูงมาก	สูง	สูง
ความแข็ง (Hardness)	สูง	ขึ้นกับชนิด	ปานกลาง
การเกิดสีเหลือง (Yellowing)	ปานกลางถึงมาก	ขึ้นกับชนิด	สูง

โพลิโกเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสารประเภทอะลิฟาติกยูรีเทนไดอะคริเลตผสมกับ 1,6-เฮกเซนไดออลไดอะคริเลต (1,6-Hexanediol diacrylate) มีชื่อทางการค้าคือ อีบีคริล 284 (Ebecryl 284) มีสถานะเป็นของเหลวความหนืดสูง สีเหลือง กลิ่นคล้ายเอสเทอร์ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1200 ที่ 60°C มีความหนืดเท่ากับ 2100 mPa s อุณหภูมิสภาพแก้ว (T_g) เท่ากับ 50°C Ebecryl 284 เหมาะสำหรับการเตรียมสารเคลือบหรือหมึกพิมพ์ที่ใช้กับงานที่ต้องแสดงกลางแจ้งโดยไม่เกิดสีเหลือง นอกจากนี้ยังเป็นโพลิโกเมอร์ที่มีความเหนียวและความทนทานสูง สูตรโครงสร้างโดยทั่วไปของ Ebecryl 284 แสดงดังภาพที่ 12



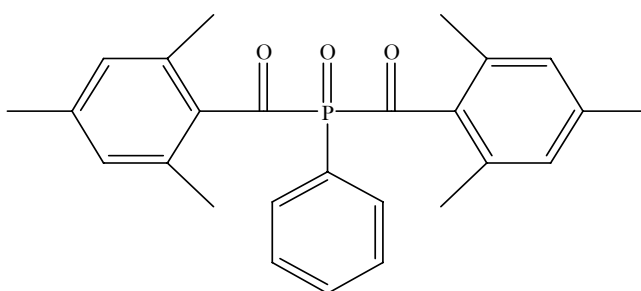
ภาพที่ 12 สูตรโครงสร้างโดยทั่วไปของ Ebecryl 284 [14]

2.1.2.3 สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง (Photoinitiator) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำหน้าที่รับพลังงานแสงแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน รูปแบบของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับชนิดของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง สำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเชิงแสงแบบแคตไอออน จะใช้สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงประเภทเกลือไอเนียม (onium salt) ส่วนสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ทำ

ให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเชิงแสงแบบอนุมูลอิสระนั้นสามารถแบ่งเป็นสองประเภทตามกลไกการเกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ Norrish Type I ซึ่งเป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้เองหลังจากรับพลังงานแสงแล้ว เช่น สารประเภทไฮดรอกซีคีโตน (hydroxy ketone) หรือฟอสฟีนออกไซด์ (phosphine oxide) เป็นต้น และ Norrish Type II เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ต้องอาศัยสารอื่นช่วยในการแตกตัวให้อนุมูลอิสระหลังการรับแสง สารที่ใช้ควบคู่กับสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดนี้เป็นสารที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจน โดยมากเป็นสารประเภทเอมีน ตัวอย่างของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิด Norrish Type II เช่น ไทโอแซนโทน (thioxanthone) หรือ แอนทราควิโนน (anthraquinone) เป็นต้น ในสูตรของหมึกพิมพ์ยูวีนั้น สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการแห้งของหมึก เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่นต่างกัน [15] และสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีสถานะของเหลวเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าสถานะของแข็ง เนื่องจากสามารถกระจายตัวอยู่รอบๆ โมเลกุลของมอนอเมอร์และโอลิโกเมอร์ได้ดีกว่า นอกจากนี้การเลือกใช้สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงต้องพิจารณาถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาด้วย บางชนิดเหมาะสำหรับการแห้งบนพื้นผิวชั้นฟิล์ม และบางชนิดให้การแห้งได้ดีที่ด้านล่างของชั้นฟิล์ม [11]

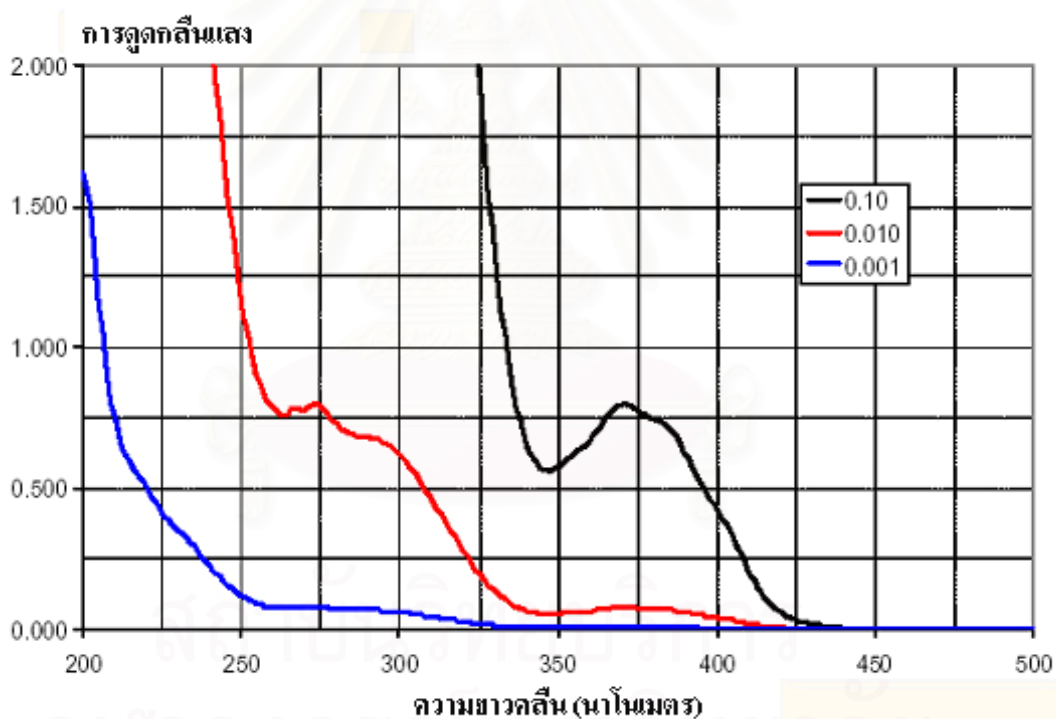
สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีผลต่อสมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้ เช่น ความแข็งของชั้นฟิล์ม ขึ้นกับความเข้มข้นและความไวต่อปฏิกิริยาของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง เป็นต้น [10]

อิร์กาเคียวร์ 2100 (Irgacure 2100) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีองค์ประกอบหลักคือ อิร์กาเคียวร์ 819 (Irgacure 819) [16] ซึ่งมีชื่อทางเคมี คือ ฟีนิลบิส(2,4,6-ไตรเมทิลเบนโซอิล)-ฟอสฟีนออกไซด์ (Phenylbis(2,4,6-Trimethylbenzoyl)-Phosphineoxide) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในสูตรของสารเคลือบและหมึกพิมพ์ที่มีการแห้งด้วยรังสียูวีบนวัสดุรองรับต่างๆ ได้แก่ ไม้ โลหะ พลาสติก และกระดาษ สามารถใช้เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดเดียวในระบบหรือใช้ร่วมกับสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดอื่นได้ เนื่องจากมีสถานะเป็นของเหลวจึงสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารอื่นได้ดี สำหรับการเคลือบชั้นฟิล์มที่มีความหนามากสามารถใช้ Irgacure 2100 ช่วยในการแห้งด้านล่างของชั้นฟิล์มได้ [17] มีการเกิดสีเหลืองน้อยจึงเหมาะกับสูตรสารเคลือบและหมึกพิมพ์ที่มีค่า Pigment Volume Concentration (PVC) ต่ำ สูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 สูตรโครงสร้างของ Irgacure 2100 [18]

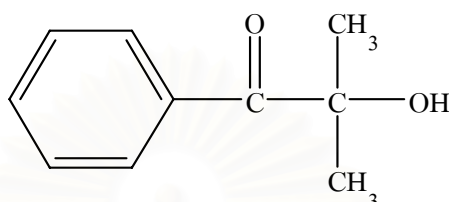
Irgacure 2100 มีการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 275 และ 370 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นร้อยละต่างๆ ในอะซิโตไนไตรล (acetonitrile) พิกของการดูดกลืนแสงแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ช่วงการดูดกลืนแสงของ Irgacure 2100 [16]

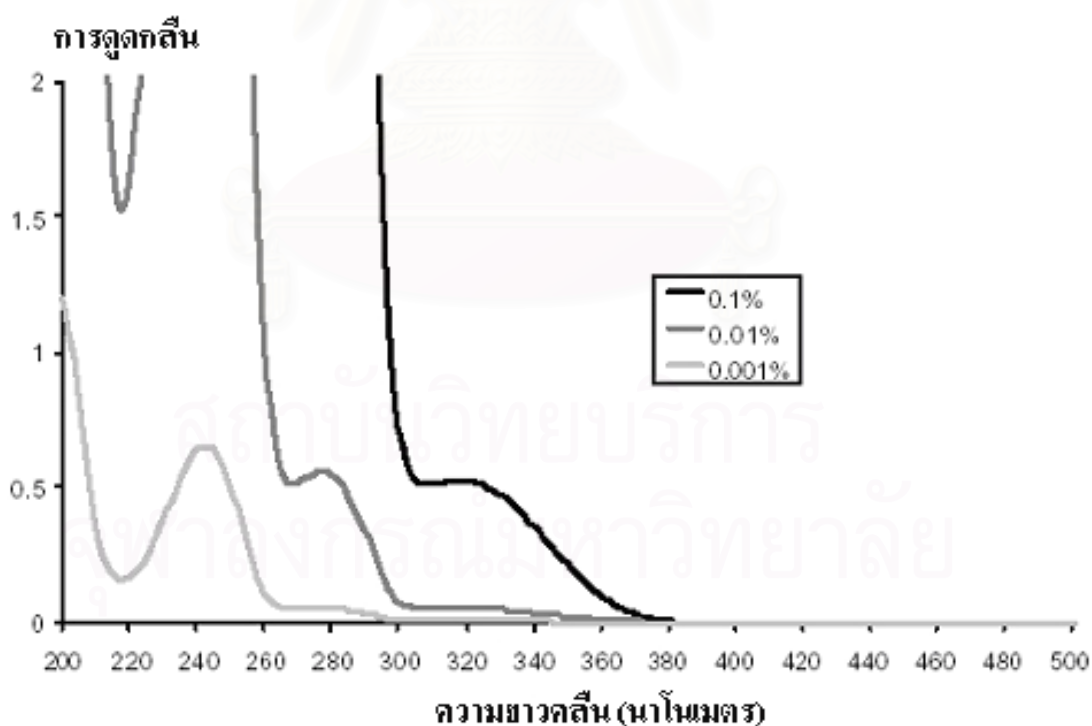
คาโรเคียร์ (Darocur 1173) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงประเภทแอลฟา-ไฮดรอกซีคีโตน (α -Hydroxyketone) มีชื่อทางเคมี คือ 2-ไฮดรอกซี-2-เมทิล-1-ฟีนิล-โพรเพน-1-โอน (2-Hydroxy-2-Methyl-1-Phenyl-Propan-1-one) สูตรโครงสร้างแสดงในภาพที่ 15 เหมาะสำหรับใช้ในสูตรของสารเคลือบที่มีการแห้งด้วยรังสียูวีบนวัสดุรองรับต่างๆ ได้แก่ โลหะ พลาสติก และกระดาษ มีสถานะเป็นของเหลวที่มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลาย

อินทรีซ์และมอนอเมอร์อะคริเลตได้มากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จึงสามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับสารอื่นในระบบได้ดี และสามารถเข้าร่วมกับสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดอื่นได้ ที่ 20°C มีความหนืดเท่ากับ 25 mPa s มีการเกิดสีเหลืองน้อยมากจึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องแสดงกลางแจ้งเป็นเวลานาน



ภาพที่ 15 สูตรโครงสร้างของ Darocur 1173 [19]

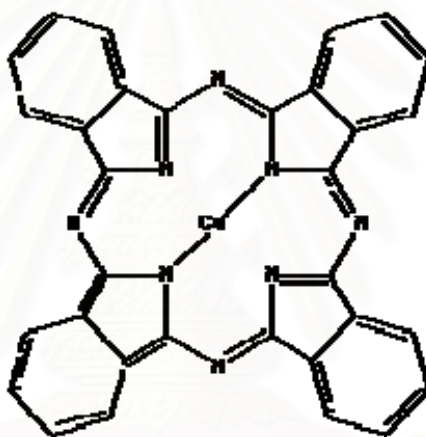
Darocur 1173 มีการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 245, 280 และ 331 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นร้อยละต่างๆ ในอะซิโตนไตรล โดยที่คของการดูดกลืนแสงที่ระดับต่างๆ กัน แสดงดังภาพที่ 16



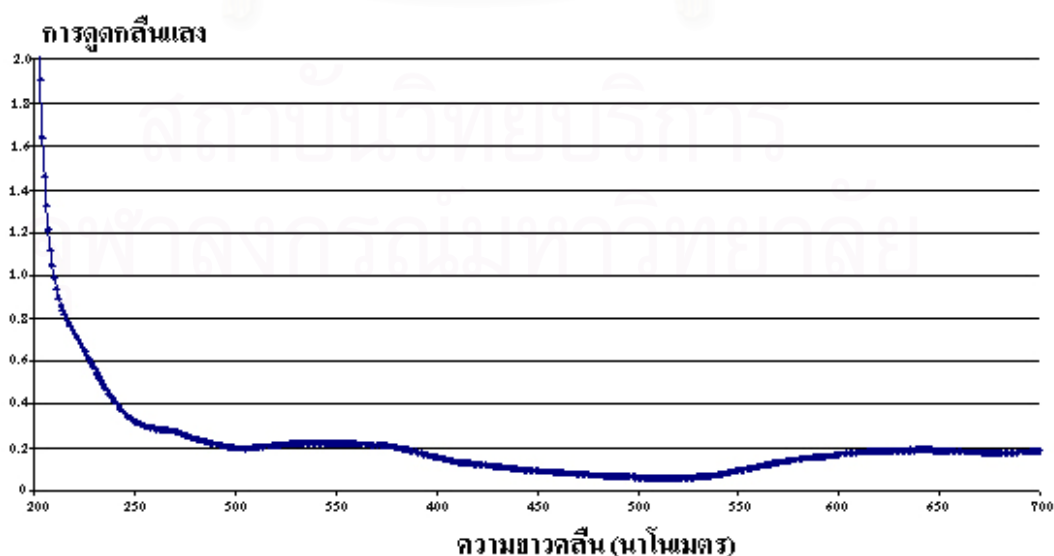
ภาพที่ 16 ช่วงการดูดกลืนแสงของ Darocur 1173 [20]

2.1.2.4 สารให้สี (Colorant) ทำหน้าที่ให้สีแก่หมึกพิมพ์ มีผลต่อสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกในด้านความมันวาว ความทนต่อการขีดถู ความทนต่อแสงและความร้อน หรือความทนต่อตัวทำละลาย [11]

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสีน้ำเงิน โดยใช้สารสีที่มีชื่อทางการค้า คือ Hostaperm Blue B2G เป็นสารสีประเภทบีตาโคอปเปอร์ทาโลไซยานิน (Beta Copper Phthalocyanine หรือ Pigment Blue 15:3) ซึ่งมีโครงสร้างโดยทั่วไปดังภาพที่ 17 Hostaperm Blue B2G เป็นสารสีที่มีการใช้งานโดยทั่วไปและเหมาะสำหรับการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีน มีการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 350 นาโนเมตรดังภาพที่ 18 มีความหนาแน่น 1.6 กรัม/ลบ. ซม. และมีความทนต่อแสง (blue wool index) สูงสุดที่ 8 จึงเหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องแสดงกลางแจ้งเป็นเวลานาน



ภาพที่ 17 โครงสร้างโดยทั่วไปของบีตาทาโลไซยานินบลู [21]



ภาพที่ 18 การดูดกลืนแสงของ Hostaperm Blue B2G ในเอทิลินไกลคอล

2.1.2.5 สารเติมแต่ง (Additives) ทำหน้าที่ปรับสมบัติของหมึกพิมพ์ให้เหมาะแก่การใช้งานแต่ละประเภท เช่น สารลดฟอง (defoamer) ซึ่งเป็นสารประเภทซิลิโคน (silicone) และสารเพิ่มการยึดติด (adhesive promoter) เป็นต้น

สำหรับหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมในงานวิจัยนี้มีการปรับสมบัติของหมึกโดยใช้สารเติมแต่งสองชนิด ได้แก่ สารลดฟองซึ่งมีชื่อทางการค้า คือ anti foam A และสารเพิ่มการยึดติดที่มีชื่อทางการค้า คือ Z 6040 ซึ่งเป็นสารประเภทไซเลน (silane)

ตัวอย่างของสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสำหรับพิมพ์พีวีซีแสดงในตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 สูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสำหรับพิมพ์พีวีซี [22]

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (%)
Pigment	7.0
Extender	10.0
Aliphatic Urethane Diacrylate	50.0
TPGDA	16.5
N-Vinyl Caprolactam	8.0
2-Isopropylthioxanthone (ITX)	1.0
N,N-Dimethoxy-2-Phenylacetophenone	4.5
N,N-Dimethylethanolamine	1.5
Silicone Antifoam	1.5

ตารางที่ 6 เป็นตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสำหรับพิมพ์พีวีซีซึ่งใช้มอนอเมอร์คือ TPGDA และใช้เอ็น-ไวนิล คาโพรแลกแตม (N-vinyl caprolactam) เป็นมอนอเมอร์ที่ช่วยในการเปียกผิวบนแผ่นพีวีซีและเพิ่มการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ [23] โอลิโกเมอร์ที่ใช้เป็นอะลิฟาติกยูรีเทน ไดอะคริเลต สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ใช้คือ 2-ไอโซโพรพิลไทโอแซนโทน (2-isopropylthioxanthone) และเอ็น, เอ็น-ไดเมทอกซี-2-ฟีนิลอะซิโตฟีโนน (N,N-dimethoxy-2-phenylacetophenone) โดยมีสารประเภทเอมีนซึ่งทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่ 2-ไอโซโพรพิลไทโอแซนโทน เพื่อช่วยให้ 2-ไอโซโพรพิลไทโอแซนโทนเกิดปฏิกิริยาเชิงแสงแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ตามกลไกของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง Type II นอกจากนี้มีการเติมสารลดฟองเพื่อป้องกันการเกิดฟองของหมึกพิมพ์ภายในภาชนะที่เก็บและระหว่างการพิมพ์

ตารางที่ 7 สูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสำหรับพิมพ์พีวีซี [23]

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (%)
Aliphatic Urethane Acrylate	35
Carbon Black Pigment	5
Tripropylene Glycol Diacrylate	22
Ethoxylated Trimethylol Propane Triacrylate	15
N-Vinyl Caprolactam	15
Methyl Diethanolamine	4
Iso-Propyl Thioxanthone	2
Silicone Oil Flow Agent	2

ตารางที่ 7 เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างของสูตรหมึกสำหรับพิมพ์บนแผ่นพีวีซี ซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับสูตรหมึกในตารางที่ 6 สูตรหมึกนี้มีการใช้มอนอเมอร์อีกชนิดที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันสามหมู่คือ เอทอกซีเทรียมอลโพรเพนไตรอะครีเลต (Ethoxylated trimethylol propane triacrylate) เพื่อเพิ่มความไวในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และใช้สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเพียงชนิดเดียวคือ ไอโซ-โพรพิลไทโอแซนโทน โดยใช้ร่วมกับสารประเภทเอมีนซึ่งทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่ไอโซ-โพรพิลไทโอแซนโทน เพื่อช่วยให้ไอโซ-โพรพิลไทโอแซนโทนเกิดปฏิกิริยาเชิงแสงแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ตามกลไกของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง Type II สูตรหมึกนี้เป็นสูตรหมึกที่ได้จากการวิจัยโดยแทนที่เอ็น-ไวนิล ไพโรลิโดน (N-Vinyl Pyrrolidone) ด้วยเอ็น-ไวนิล คาโพรแลกแทม ได้สูตรหมึกที่มีการยึดติดบนแผ่นพีวีซีดีขึ้น และไม่เกิดการเปื้อนของหมึกที่ด้านหลังของแผ่นพีวีซีที่วางซ้อนบนแผ่นที่พิมพ์แล้ว (Blocking) [23]

2.1.3 การเตรียมหมึกพิมพ์ยูวี

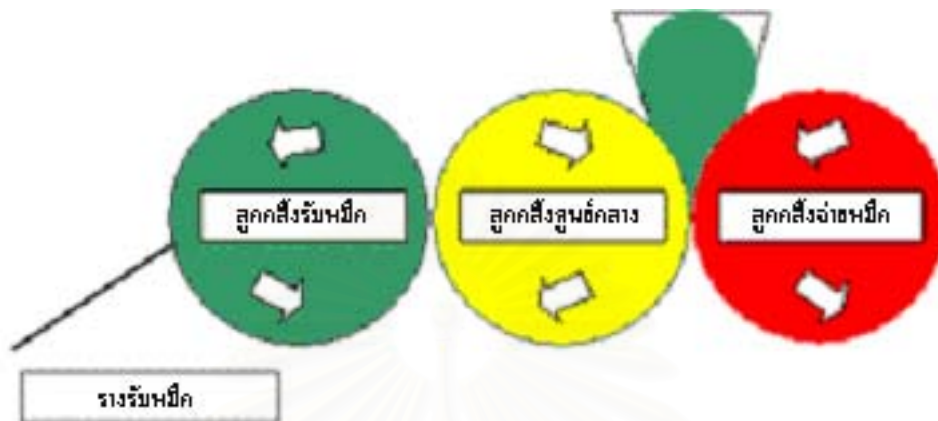
การเตรียมหมึกพิมพ์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การกระจายตัวสารสี

ขั้นตอนแรกของการเตรียมหมึกพิมพ์คือ การบดสารสีใน โอลิโกเมอร์

[24] เพื่อให้อนุภาคสารสีมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดี กระบวนการบดสารสีเริ่มโดยการผสมสารสีลงในโอลิโกเมอร์และมอนอเมอร์แล้วนำไปบดด้วยเครื่องทรีโรลล์มิลล์ (three-roll mills) ดังภาพที่ 19 ซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้งสามลูกที่มีความเร็วในการหมุนต่างๆ กัน โดยความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้งแต่ละลูกจะเพิ่มขึ้นจากลูกหลังสุดมายังลูกหน้าสุดตามลำดับ หมึกถูกป้อนระหว่างลูกกลิ้งลูกหลังและลูกกลาง จากนั้นถูกนำออกจากเครื่องโดยใบมีด (doctor blade) ที่ติดกับลูกกลิ้ง

ลูกหน้า ขนาดของอนุภาคสารสีเล็กลงตามจำนวนรอบการบด ซึ่งเป็นผลจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้น จากความเร็วที่ไม่เท่ากันของลูกกลิ้งแต่ละลูก [15]



ภาพที่ 19 Three-roll mills [25]

ขั้นตอนที่ 2 การผสมสูตรหมึกพิมพ์

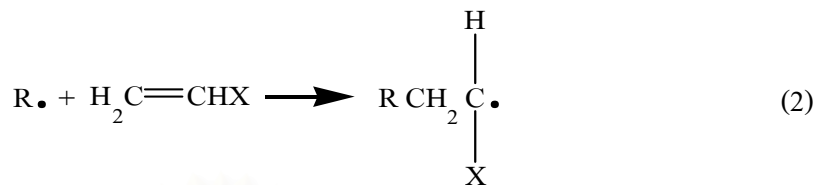
นำสารสีที่กระจายตัวจนมีขนาดอนุภาคที่ต้องการแล้วมาผสมกับ องค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงและสารเติมแต่ง เพื่อให้ได้หมึกพิมพ์สกรีนยูวี ตามสูตร จากนั้นทำการคนหมึกด้วยแท่งคนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) เพื่อให้องค์ประกอบ ทั้งหมดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

2.1.4 การแห้งของหมึกด้วยรังสียูวี

การแห้งของหมึกโดยการใช้รังสียูวีเกิดปฏิกิริยาโฟโตพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสียูวีเป็น วิธีการแห้งของหมึกพิมพ์วิธีหนึ่งที่มีความเร็วในการแห้งสูง สามารถแห้งได้อย่างสมบูรณ์ ใช้ พลังงานและพื้นที่ของอุปกรณ์น้อย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งชั้นฟิล์มที่ได้มีการยึดติดกับวัสดุ พิมพ์ดี ชั้นฟิล์มที่แข็งตัวแล้วมีความทนทานต่อแสงและตัวทำละลาย ชั้นฟิล์มมีความมันวาวสูง ไม่มีการระเหยของสารออกจากระบบ การเกิดฟิล์มโดยปฏิกิริยาโฟโตพอลิเมอไรเซชัน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

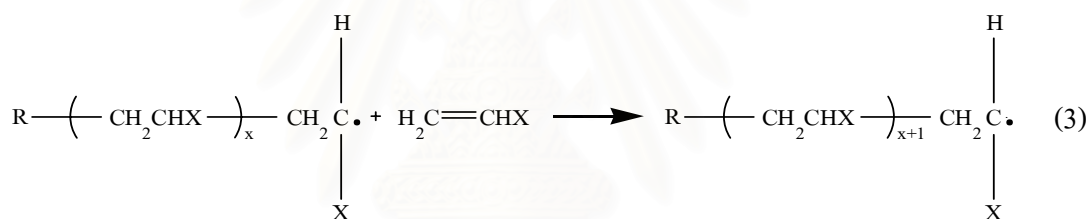
2.1.4.1 ปฏิกิริยาเริ่มต้น (Initiation)

ปฏิกิริยาเริ่มต้นในการเกิดพอลิเมอไรเซชัน สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงรับ พลังงานแสงในช่วงคลื่นที่เหมาะสมแล้วเกิดการแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ จากนั้นอนุมูลอิสระที่ เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ในขั้นต่อไปดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [26, 27]



2.1.4.2 ปฏิริยาการแผ่ (Propagation)

เป็นขั้นที่สองของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ในขั้นนี้อนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ทำให้เกิดสายโซ่ของอนุมูลอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์โมเลกุลต่อไป ในขั้นนี้ได้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจากการรวมกันของมอนอเมอร์หลายโมเลกุล ดังสมการที่ 3 [26, 27]

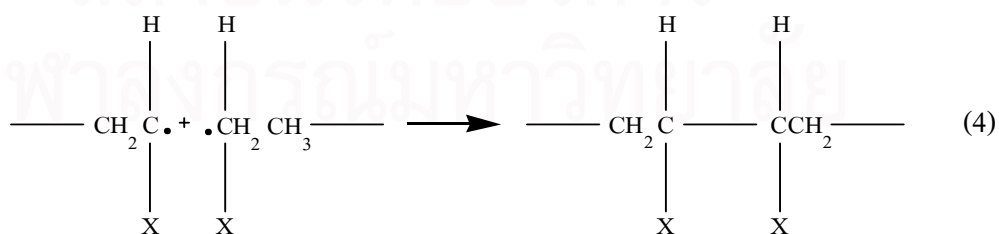


2.1.4.3 ปฏิริยาการหยุด (Termination)

แบ่งเป็น 2 แบบ

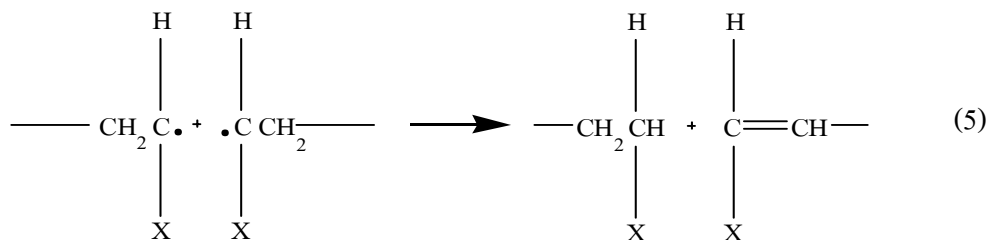
2.1.4.3.1 ปฏิริยาการรวมตัว (Combination) อนุมูลอิสระจากขั้น

ปฏิกิริยาการแผ่เกิดการรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ชนิดอิมิตัวดังสมการที่ 4 [26, 27]



2.1.4.3.2 ปฏิริยาการ disproportionation (Disproportionation)

ไฮโดรเจนที่ตำแหน่งบีตาในสายโซ่โมเลกุลหนึ่งถูกถ่ายโอนไปที่อนุมูลอิสระของอีกสายโซ่หนึ่ง ทำให้ได้พอลิเมอร์ชนิดอิมิตัวและไม้อิมิตัวดังสมการที่ 5 [26, 27]



2.1.5 การออกแบบของผสม (Mixture Design)

หมึกพิมพ์ยูวีประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ มอนอเมอร์ โอลิโกเมอร์ สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง สารสี และสารเติมแต่งต่างๆ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีผลต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และสมบัติของชั้นฟิล์มที่ได้ ดังนั้นการเตรียมหมึกพิมพ์ยูวีให้มีสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละอย่างที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติของหมึกที่ต้องการอาจต้องใช้เวลาในการทดลองนานและใช้สารเป็นจำนวนมาก

การออกแบบของผสมเป็นการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลที่เกิดจากองค์ประกอบที่หลากหลาย เพื่อคำนวณหาสูตรที่เหมาะสมที่ให้สมบัติต่างๆ ที่ต้องการตามขอบเขตที่กำหนด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง (Y) ซึ่งหมายถึงสมบัติของหมึกพิมพ์ที่ต้องการ และตัวแปรอิสระ (X) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X เพื่อหาขอบเขตของสัดส่วนที่เหมาะสมของสูตรหมึกได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบการทดลองมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ลิเนียร์ (Linear) ควอดรติก (Quadratic) ฟูลคิวบิก (Full Cubic) และสเปเชียลคิวบิก (Special Cubic) สมการแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละรูปแบบแสดงดังสมการที่ 6 ถึง 9 [28]

ลิเนียร์
$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i \quad (6)$$

ควอดรติก
$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (7)$$

ฟูลคิวบิก

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j} \sum_{i < j} \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j < k} \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (8)$$

สเปเชียลคิวบิก

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i<j} \sum_{i<j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j<k} \sum_{i<j<k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (9)$$

สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้สมการควอดราติกสำหรับการคำนวณองค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนยูวี 3 องค์ประกอบ รูปแบบของสมการแสดงในสมการที่ 10 [28]

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad (10)$$

โดย Y คือ สมบัติของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ต้องการ เช่น พลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์ม ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นพลาสติก หรือความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์ม เป็นต้น

X_1 , X_2 และ X_3 คือ สัดส่วนขององค์ประกอบที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

β คือ สัมประสิทธิ์ร่วมซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11-16

$$\beta_1 = Y_1 \quad (11)$$

$$\beta_2 = Y_2 \quad (12)$$

$$\beta_3 = Y_3 \quad (13)$$

$$\beta_{12} = 4Y_{12} - 2(Y_1 + Y_2) \quad (14)$$

$$\beta_{13} = 4Y_{13} - 2(Y_1 + Y_3) \quad (15)$$

$$\beta_{23} = 4Y_{23} - 2(Y_2 + Y_3) \quad (16)$$

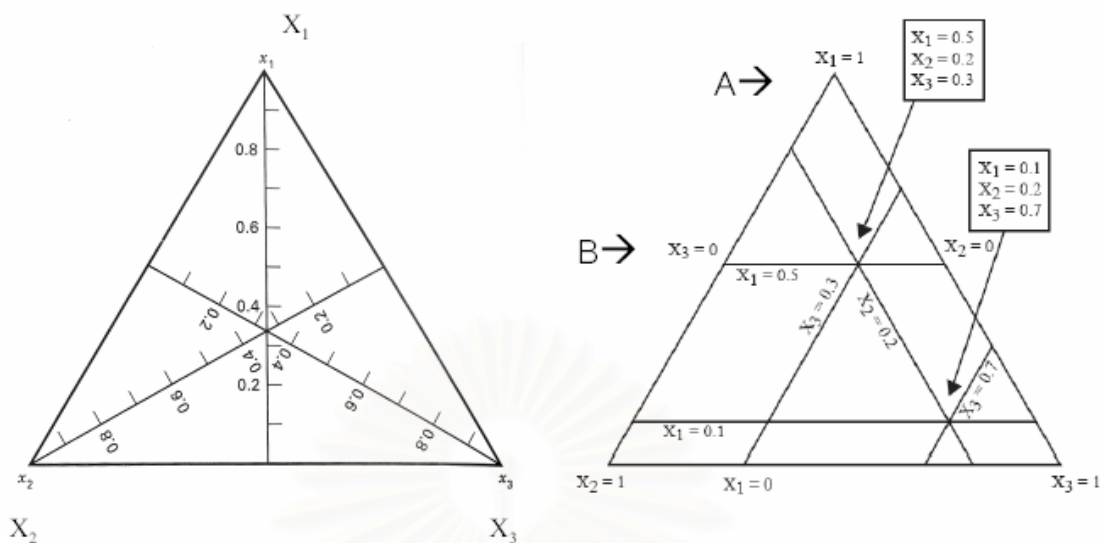
การออกแบบของผสมเป็นการใช้หลักสถิติในการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของหมึกพิมพ์ที่ได้ โดยสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบรวมกันเท่ากับ 1 หรือร้อยละ 100 ดังตัวอย่าง

$$0 \leq X_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_p = 1 \text{ (ร้อยละ 100)}$$

เมื่อ X_i คือ สัดส่วนขององค์ประกอบที่ i

สำหรับการคำนวณ 3 องค์ประกอบสามารถแสดงผลได้ในรูปไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต (Trilinear co-ordinate) ดังภาพที่ 20 ที่ตำแหน่งมุมของสามเหลี่ยมแทนองค์ประกอบหนึ่งในของผสม เป็นจุดที่มีองค์ประกอบนั้นเท่ากับ 1 และองค์ประกอบที่เหลือเป็น 0 เช่นที่จุด A ซึ่งเป็นตำแหน่งขององค์ประกอบที่ 1 มีสัดส่วนขององค์ประกอบ X_1 , X_2 และ X_3 เป็น 1:0:0 ที่จุด B มีสัดส่วนขององค์ประกอบ X_1 , X_2 และ X_3 เป็น 0.5:0.5:0 เป็นต้น



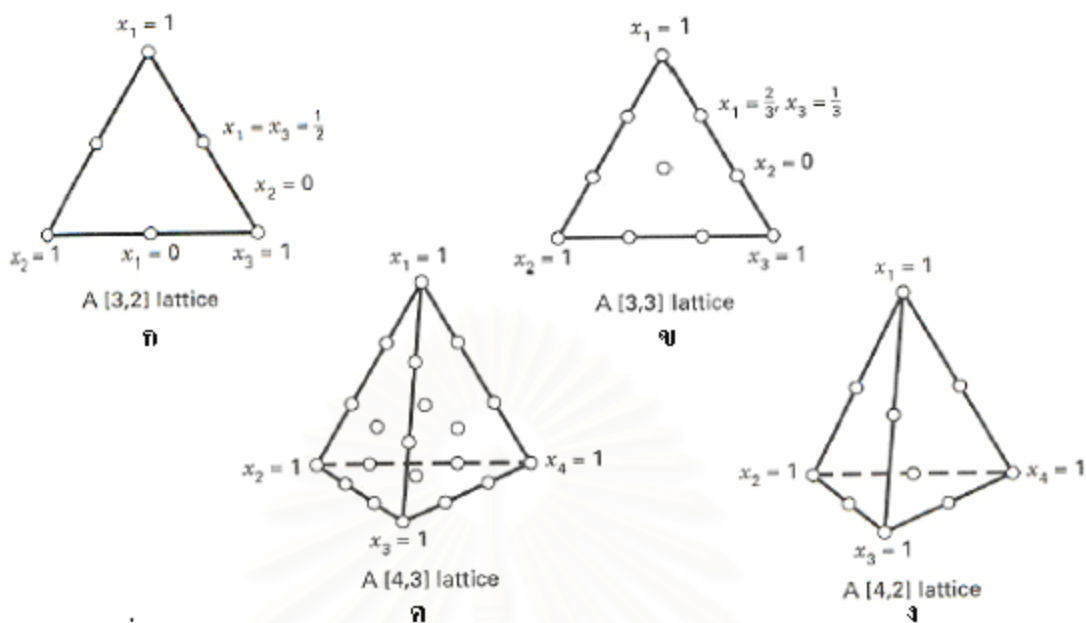
ภาพที่ 20 ไตรลิเนียร์โคออร์ดิเนต (Trilinear co-ordinate) [28]

การออกแบบของผสมแบบซิมเพล็กซ์ (Simplex Design) ได้นำมาใช้ในการศึกษาผลขององค์ประกอบในของผสมที่มีต่อสมบัติของของผสมที่ได้ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ แบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ (Simplex Lattice Design) และแบบซิมเพล็กซ์เซ็นทรอยด์ (Simplex Centroid Design) [28]

การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซมีรูปแบบของจุดโคออร์ดิเนตสำหรับ p องค์ประกอบและ m ระดับ $\{p,m\}$ ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 21

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

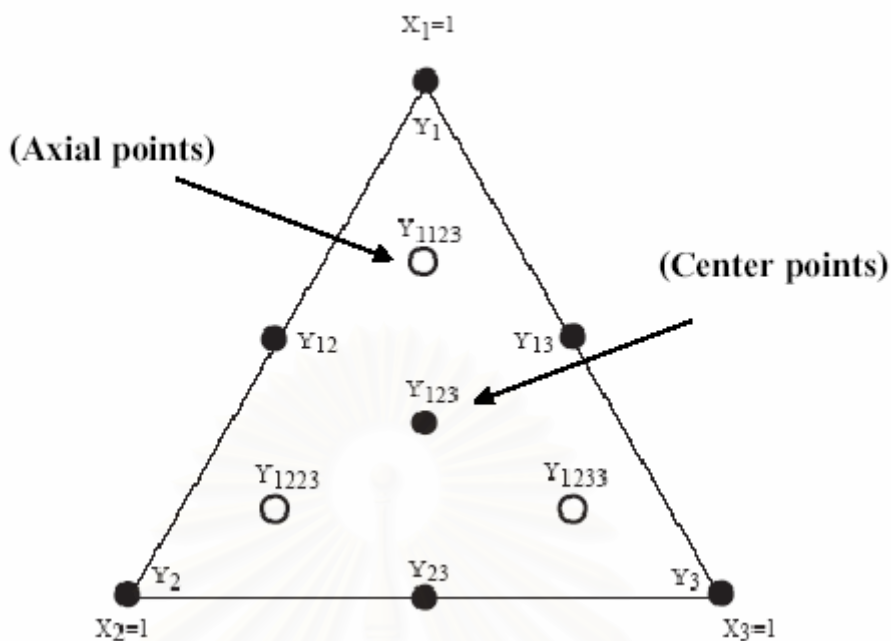


ภาพที่ 21 การออกแบบแบบซิมเพิลิกแลตทิซสำหรับ 3 และ 4 องค์กรประกอบ [28]

- ก. 3 องค์กรประกอบ 2 ระดับ
- ข. 3 องค์กรประกอบ 3 ระดับ
- ค. 4 องค์กรประกอบ 3 ระดับ
- ง. 4 องค์กรประกอบ 2 ระดับ

จากตัวอย่างของผสม 3 องค์กรประกอบที่ 2 ระดับแลตทิซ (A{3,2}) ดังภาพที่ 21 ก คือการออกแบบแบบซิมเพิลิกแลตทิซที่มี 3 องค์กรประกอบและมีการแบ่งช่วงของแต่ละองค์กรประกอบเป็น 2 ระดับ ซึ่งสามารถแบ่งสัดส่วนของของผสมได้ 6 ชุดที่สัดส่วนของ X_1, X_2, X_3 ต่างๆ ได้แก่ 1,0,0 0,1,0 0,0,1 1/2,1/2,0 1/2,0,1/2 และ 0,1/2,1/2

สำหรับงานวิจัยนี้จะนำการออกแบบแบบซิมเพิลิกแลตทิซ 2 ระดับที่รวมจุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (center points) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดที่มุมและจุดตรงกลาง (axial points) เพื่อให้การทำนายสมบัติของหมึกพิมพ์สมบูรณ์มากขึ้น center points และ axial points สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 22 และสัดส่วนของแต่ละองค์กรประกอบในแต่ละสูตรแสดงดังตารางที่ 8



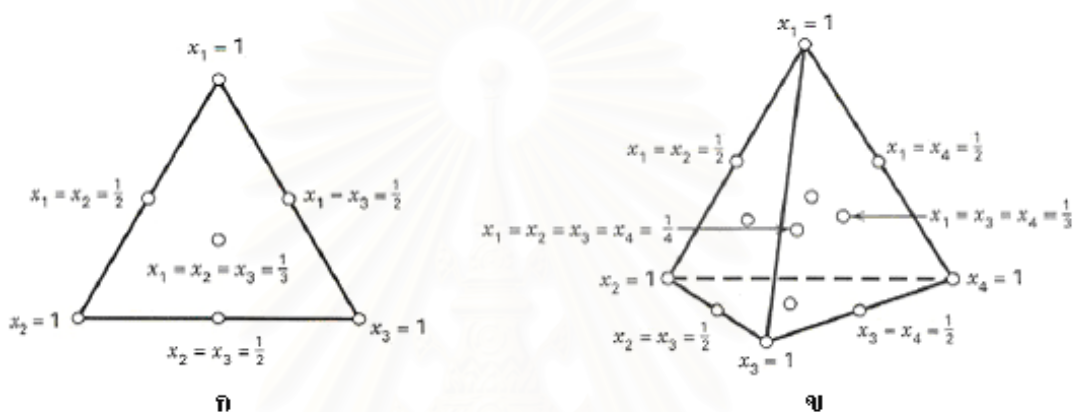
ภาพที่ 22 การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แลตทิส 2 ระดับที่รวมจุดโคออร์ดิเนตตรงศูนย์กลาง (center points) และจุดกึ่งกลางระหว่างจุดที่มุมและจุดตรงกลาง (axial points) [28]

ตารางที่ 8 สัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบในการออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แลตทิส 3 องค์ประกอบ 2 ระดับ [28]

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

โดยทั่วไปสูตรที่ 1 ถึง 7 เป็นสูตรที่นำมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและตัวแปรอิสระตามสมการควอดราติก และสูตรที่ 8 ถึง 10 ซึ่งเป็น axial points เป็นสูตรที่ใช้เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณ

สำหรับการออกแบบแบบซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ p องค์ประกอบจะมีจำนวนจุดในแบบจำลองเท่ากับ $2p-1$ จุด ซึ่งระดับของการแบ่งจุดจะเท่ากับ $1, 1/2, 1/3, \dots, 1/p$ ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Simplex Centroid Design) [28]

ก. 3 องค์ประกอบ

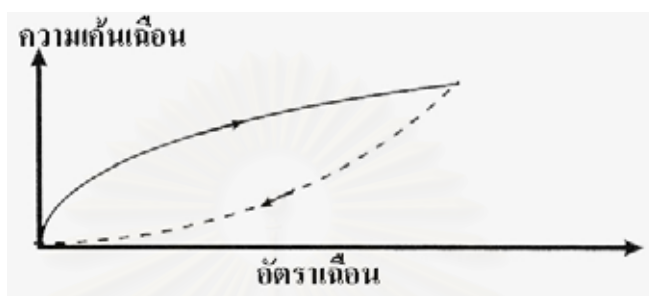
ข. 4 องค์ประกอบ

2.1.6 สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์สกรีน

หมึกพิมพ์สกรีนเป็นของไหลที่มีการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน (non-Newtonian) [3] กล่าวคือความหนืดของหมึกจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเฉือน ของไหลนอน-นิวโตเนียนสามารถแบ่งพฤติกรรมการไหลได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ ชูโดพลาสติก (pseudoplastic flow) ไดลาแทนท์ (dilatent flow) พลาสติก (plastic flow) และทิกโซโทรปีและรีโอเพกซี (thixotropy and rheopexy) เป็นต้น [29, 30] สำหรับหมึกพิมพ์สกรีนเป็นของไหลที่มีการไหลแบบทิกโซโทรปี [3, 31]

ของไหลแบบทิกโซโทรปีเป็นของไหลที่มีความหนืดลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเค้นเฉือนคงที่ [32, 33] ซึ่งแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและเวลา ลักษณะการไหลแบบนี้ของไหลมักมีอนุภาคไม่สมมาตร สามารถยึดเกาะกันเป็นโครงข่ายสามมิติ เมื่อมีแรงกระทำโครงข่ายดังกล่าวถูกทำลาย ของไหลจึงสามารถไหลได้ และเมื่อหยุดให้แรงของไหลจะค่อยๆ กลับมาเป็นโครงข่ายสามมิติอย่างช้าๆ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและอัตรา

เนียนพบว่าเมื่อแรงเนียนเพิ่มขึ้นอัตราเนียนเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อแรงเนียนลดลงอัตราเนียนก็จะลดลงด้วย แต่ลักษณะการลดลงของอัตราเนียนไม่เป็นไปในแนวโน้มเดียวกับตอนเพิ่ม เนื่องจากของไหลมีความหนืดลดลงตามเวลา ลักษณะของกราฟแบบนี้เรียกว่า ฮิสเทอรีซิสลูป (hysteresis loop) [29] ดังภาพที่ 24

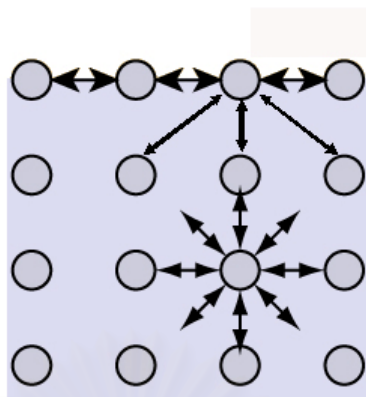


ภาพที่ 24 การไหลแบบทิกโซโทรปี [30]

การวัดความหนืดของของไหลสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ซึ่งมีหลากหลายชนิดและมีหลักการแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดความหนืดชนิด Cone-and-Plate Viscometer โดยใช้หลักการให้แรงเนียนแก่ของไหลที่อยู่บนแผ่นจานจากการหมุนของโคนที่มีความเร็วต่างๆ ข้อดีของเครื่องวัดแบบนี้คือใช้ตัวอย่างที่ต้องการวัดในปริมาณน้อย ประมาณ 0.5-2.0 มิลลิลิตร และสามารถให้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเนียน (shear rate) และความเค้นเนียน (shear stress) ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวมาสร้างกราฟเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของของไหลได้ [15]

2.1.7 แรงตึงผิว (Surface Tension)

ภายในของเหลวประกอบด้วยโมเลกุลหลายโมเลกุล แต่ละโมเลกุลมีแรงกระทำต่อกันซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุล แรงระหว่างโมเลกุลภายในของเหลวพิจารณาได้สองกรณีดังภาพที่ 25 ได้แก่ โมเลกุลภายในที่พื้นผิวของของเหลว โดยแต่ละโมเลกุลได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลข้างเคียงโดยรอบทุกด้าน และโมเลกุลบนพื้นผิวของของเหลว โดยแต่ละโมเลกุลมีโมเลกุลข้างเคียงอยู่เพียงด้านเดียวคือโมเลกุลที่อยู่ภายในที่พื้นผิวของเหลว ดังนั้นแรงดึงดูดที่มีต่อโมเลกุลบนพื้นผิวจึงมาจากทิศทางเดียวและเป็นแรงที่มีทิศทางในการดึงโมเลกุลเข้าสู่ภายในที่พื้นผิวของของเหลว



ภาพที่ 25 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว [34]

แรงระหว่างโมเลกุลที่กระทำต่อกันจะเข้าสู่ภาวะสมดุล ที่พื้นผิวของของเหลวมีการจัดเรียงโมเลกุลให้มีจำนวนโมเลกุลน้อยที่สุดอยู่ที่ผิว ทำให้พื้นที่ผิวที่ภาวะสมดุลของแรงมีน้อยที่สุด นอกจากนี้โมเลกุลที่พื้นผิวมีการยึดติดแน่นกว่าโมเลกุลภายในและมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงสามารถทนต่อแรงกระทำภายนอกได้

ของเหลวแต่ละชนิดมีแรงตึงผิวแตกต่างกัน โดยทั่วไปน้ำมีแรงตึงผิว 72.8 dyne/cm [35, 36] แรงตึงผิวของสารละลายอื่นๆ แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แรงตึงผิวของสารละลายชนิดต่างๆ

ของเหลว	แรงตึงผิว (dyne/cm)
ไดไอโอดีมีเทน	50.8
ฟอร์มาลดี	57.5 [36]
เอทิลีน ไกลคอล	48.0 [36]
เมทานอล	20.1 [32]
เอทานอล	22.3 [35]
เมทิลเอทิลคีโตน	24.0

2.1.7.1 มุมสัมผัส (Contact Angle)

มุมสัมผัส คือ มุมที่เกิดขึ้นจากแนวของรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศที่ทำมุมกับพื้นผิวที่เป็นของแข็ง มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นกับชนิดของของเหลวและของแข็งในแต่ละระบบ การวัดมุมสัมผัสสามารถทำได้โดยหยดของเหลวลงบนพื้นผิวที่แบนราบ ขนาดหยดของของเหลวควรมีขนาดเล็กที่สุดเพื่อลดผลของแรงโน้มถ่วงที่ทำให้มุมเปลี่ยนแปลง มุมสัมผัสเกิดจากสมดุลของพลังงานระหว่างผิวของสามวัสดุ คือ พื้นผิวของของแข็ง หยดของเหลว และอากาศ

หรือบรรยากาศโดยรอบรวมถึงของเหลวชนิดอื่นที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับของเหลวชนิดแรก [37, 38, 39, 40] ดังภาพที่ 26 สมดุลที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้โดยสมการของยัง (Young Equation) ดังสมการที่ 17 [41, 42, 43]

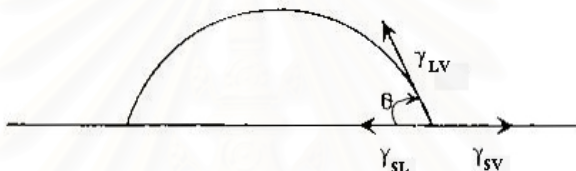
$$0 = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma \cos \theta \quad (17)$$

โดย γ_{sv} คือ พลังงานระหว่างผิวของของแข็งและอากาศ

γ_{sl} คือ พลังงานระหว่างผิวของของแข็งและของเหลว

γ คือ พลังงานระหว่างผิวของของเหลวและอากาศหรือเรียกว่าแรงตึงผิว (surface tension)

θ คือ มุมสัมผัส



ภาพที่ 26 มุมสัมผัสที่เกิดจากสมดุลของแรงระหว่างสามวัสดุ [44]

มุมสัมผัสสามารถบ่งบอกถึงการเปียกผิวหรือความสามารถในการรับของเหลวบนวัสดุรองรับใดๆ มุมสัมผัสที่แคบบ่งบอกถึงความเข้ากันได้ดีระหว่างพื้นผิวและของเหลว ที่มุม 0 องศาหมายความว่าของเหลวมีการเปียกผิวโดยสมบูรณ์ โดยทั่วไปพื้นผิวที่สามารถรับของเหลวได้ดีมีมุมสัมผัสระหว่าง 10-30 องศา ในขณะที่พื้นผิวที่มีการรับของเหลวต่ำจะมีมุมสัมผัสระหว่าง 30-89 องศา และหากมุมสัมผัสกว้างกว่า 90 องศาแสดงว่าพื้นผิวนั้นไม่สามารถรับของเหลวได้และไม่มีการเปียกผิวเกิดขึ้น [41]

ค่ามุมสัมผัส (θ) สามารถนำมาใช้ในการคำนวณพลังงานผิวของพื้นผิวใดๆ ได้ในกรณีที่ทราบแรงตึงผิวของของเหลว ดังสมการที่ 18 [45, 46]

$$\gamma_{lv}(\cos \theta + 1) = 2[(\gamma_1^d \gamma_s^d)^{1/2} + (\gamma_1^p \gamma_s^p)^{1/2}] \quad (18)$$

โดย γ_{lv} คือ แรงตึงผิวของของเหลว

γ_1^d คือ แรงตึงผิวส่วนที่ไม่มีขั้วของของเหลว

γ_1^p คือ แรงตึงผิวส่วนที่มีขั้วของของเหลว

γ_s^d คือ พลังงานผิวส่วนที่ไม่มีขั้วของของแข็ง

γ_s^p คือ พลังงานผิวส่วนที่มีขั้วของของแข็ง

θ คือ มุมสัมผัสของของเหลวบนผิวของของแข็ง

ก่อนการคำนวณค่าพลังงานผิวต้องวัดมุมสัมผัสของของเหลวสองชนิดบนผิวของของแข็ง และของเหลวทั้งสองชนิดที่ใช้ต้องทราบค่าแรงตึงผิวทั้งส่วนที่มีขั้วและส่วนที่ไม่มีขั้ว ค่าพลังงานผิวที่คำนวณได้จากสูตรมีหน่วยเป็น Dyne/cm หรือ mN/m ค่าแรงตึงผิวของน้ำและไดไอโอดีโอดีมีเทนแสดงในตารางที่ 10

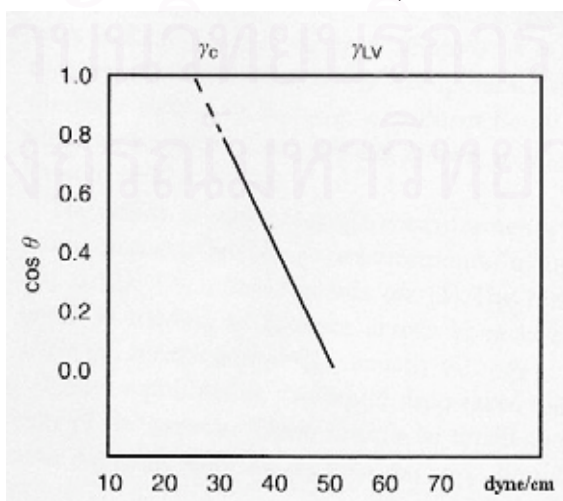
ตารางที่ 10 ค่าแรงตึงผิวของน้ำและไดไอโอดีโอดีมีเทน

ของเหลว	γ_1^d	γ_1^p	$\gamma_{1v} (\gamma_1^d + \gamma_1^p)$
น้ำ	21.8	51.0	72.8
ไดไอโอดีโอดีมีเทน	46.6	4.2	50.8

2.1.7.2 พลังงานผิววิกฤติ (Critical Surface Tension)

พลังงานผิววิกฤติเป็นค่าแรงตึงผิวของของเหลวที่เทียบเท่ากับค่าพลังงานผิวของของแข็ง ณ จุดที่เกิดการเปียกผิวที่สมบูรณ์ คือมีมุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา พลังงานผิววิกฤติสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\cos \theta$ และแรงตึงผิวของของเหลวต่างชนิดกันจำนวนหนึ่ง เรียกว่าวิธีของซิสแมน (Zisman's approach) [40, 41, 46] โดยทำการวัดมุมสัมผัสของของเหลวชนิดต่างๆ บนพื้นผิวของของแข็งเพื่อหาค่า $\cos \theta$ แล้วนำไปเขียนกราฟโดยให้แกนตั้งเป็น $\cos \theta$ และแกนนอนเป็นค่าแรงตึงผิวของของเหลว จากนั้นลากเส้นกราฟต่อไปจนกระทั่งตัดที่จุด $\cos \theta = 1$ (หรือ $\theta = 0$) [40, 41] ดังแสดงในภาพที่ 27

ค่าแรงตึงผิวที่จุด $\cos \theta = 1$ เรียกว่าพลังงานผิววิกฤติของพื้นผิวของเหลวที่มีพลังงานผิวน้อยกว่าหรือเท่ากับพลังงานผิววิกฤติจะสามารถแผ่บนพื้นผิวนั้นๆ ได้



ภาพที่ 27 การหาค่าแรงตึงผิววิกฤติด้วยวิธีของ Zisman [40]

2.1.8 การทดสอบการเกิดฟิล์มของหมึกพิมพ์ยูวี

2.1.8.1 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโกปี (Fourier Transformation Infrared Spectroscopy)

การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สามารถทำได้โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของพันธะคู่ของหมู่อะคริเลต ซึ่งสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใต้พีคที่เลขคลื่น 812 cm^{-1} [17, 47]

2.1.8.2 การวัดความมันวาว (Gloss)

โดยทั่วไปชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ยูวีมีความมันวาวสูง ดังนั้นการวัดความมันวาวของชั้นฟิล์มจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถตรวจสอบการแห้งของชั้นฟิล์มได้ การวัดความมันวาวโดยทั่วไปวัดที่มุม 60 องศา หากชั้นฟิล์มมีค่าความมันวาวสูงกว่าร้อยละ 70 ควรเปลี่ยนมุมที่วัดเป็น 20 องศา และหากชั้นฟิล์มมีค่าความมันวาวต่ำกว่าร้อยละ 10 ควรเปลี่ยนมุมที่วัดเป็น 85 องศา (ASTM D 523-89) [48]

2.1.8.3 การวัดความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนพลาสติก (Z-Direction Tensile Strength)

การยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนวัสดุรองรับสามารถทำได้โดยการวัดความต้านทานแรงดึงในแนวตั้ง โดยการให้แรงดึงแก่ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์และวัสดุรองรับออกจากกัน แรงดึงที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลุดออกจากผิวของวัสดุรองรับแสดงถึงความสามารถในการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนวัสดุนั้นๆ ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

2.1.8.4 การทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มด้วยเทปกาว (Tape Test)

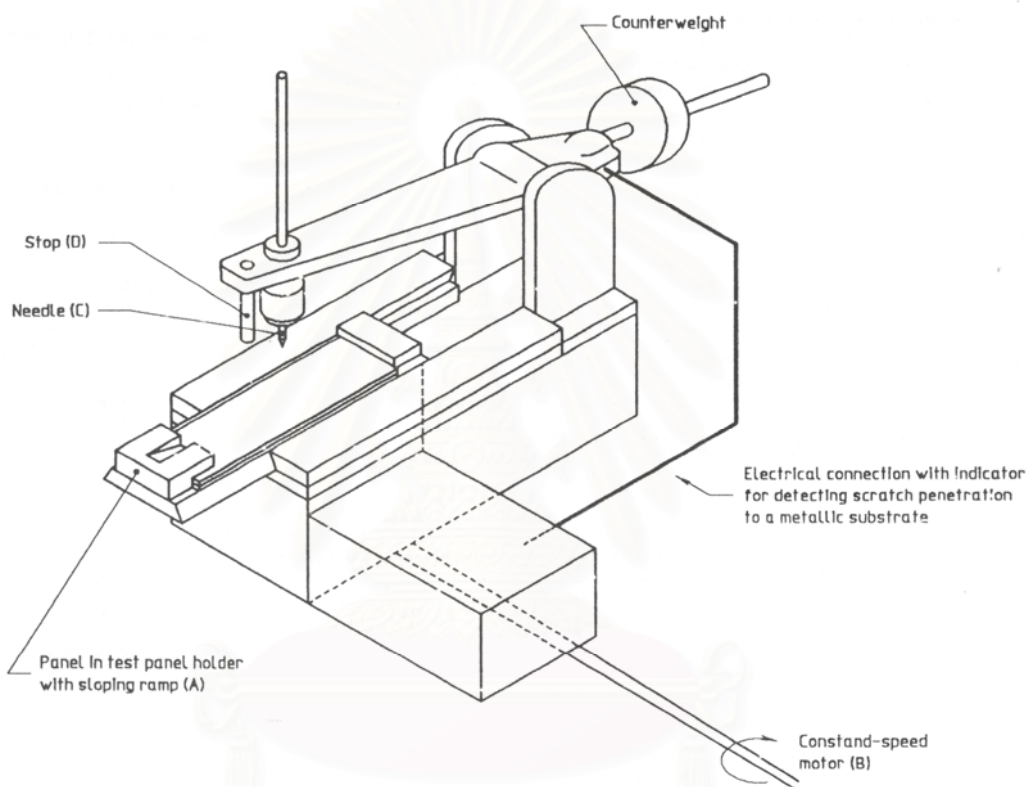
เป็นวิธีทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มบนผิววัสดุรองรับ โดยการแสดงผลการยึดติดเป็นระดับของการหลุดลอกของชั้นฟิล์มหลังการดึงด้วยเทปกาว (ASTM D 3359-02) [48]

2.1.8.5 การทดสอบความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มด้วยดินสอ (Pencil Test)

เป็นการทดสอบความแข็งแรงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์โดยเปรียบเทียบกับความแข็งของเบอร์ดินสอที่ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอย (ASTM D 3363-05) [48]

2.1.8.6 การทดสอบความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มด้วยวิธี Scratch Test

เป็นการทดสอบความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์จากการขีดข่วนชั้นฟิล์มด้วยแรงกดจนกระทั่งชั้นฟิล์มเกิดรอย พิจารณาความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์จากค่าแรงกดที่ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอย มีหน่วยเป็นกรัม (g) ตามมาตรฐาน BS 3900 : Part E2 เครื่องทดสอบแสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 เครื่องทดสอบความทนต่อการขีดข่วน Scratch Tester

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Christian ทำการเตรียมหมึกพิมพ์และสารเคลือบที่แห้งด้วยรังสียูวี โดยมีองค์ประกอบคือ (เมทา)อะคริเลตมาโครมอนอเมอร์ อะคริเลตมอนอเมอร์ สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง และสารสี สำหรับสูตรของหมึกพิมพ์ ขั้นตอนการเตรียมหมึกพิมพ์เริ่มโดยการผสมสารสีเข้ากับมอนอเมอร์ หรือมาโครมอนอเมอร์โดยใช้วิธีการบดและกระจายตัวสารสีแบบทรีโรลมิลล์ เมื่อสารสีกระจายตัวได้ดีแล้วจึงทำการเติมองค์ประกอบอื่นๆ ลงไปเพื่อผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน หมึกพิมพ์ที่มี

องค์ประกอบดังกล่าวข้างต้นจะมีความคงทนต่อสภาพอากาศ และสามารถยึดติดได้กับวัสดุรองรับประเภทอะคริเลต เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต [24]

Byoung และ Hyun ทำการศึกษาผลของโพลิโกเมอร์ประเภทไอโซไซยานูเรเทนอะคริเลต (isocyanate urethane acrylate) และสารเพิ่มความทนทานต่อแสงคือ Ultraviolet Light Absorber (UVA) และ Hindered Amine Light Stabilizers (HALS) ต่อความทนสภาพอากาศของสารเคลือบ โดยเตรียมแผ่นตัวอย่างที่เคลือบสารเคลือบสูตรต่างๆ แล้วนำไปฉายรังสียูวีเพื่อให้สารเคลือบแห้ง จากนั้นนำแผ่นตัวอย่างที่ได้ไปฉายแสงโดยใช้เครื่อง Q-SUN Xenon Test Chamber (Bolton, England) เป็นเวลา 960 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบสมบัติของชั้นฟิล์มสารเคลือบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสี (color difference) ความมันวาว (gloss) ความแข็ง (hardness) ลักษณะของ FT-IR สเปกตรัมและพื้นผิวของชั้นฟิล์มสารเคลือบก่อนและหลังการเร่งสภาพอากาศ จากผลการทดลองพบว่า ชั้นฟิล์มสารเคลือบที่ผ่านการเร่งสภาพอากาศแล้วมีความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้น ค่าความมันวาวและความแข็งลดลง โดยสารเคลือบที่มีโพลิโกเมอร์ประเภทอะลิฟาติกยูเรเทนอะคริเลตมีการเปลี่ยนแปลงของชั้นฟิล์มน้อยกว่าสารเคลือบที่มีโพลิโกเมอร์แอโรมาติกยูเรเทนอะคริเลต และในชั้นฟิล์มของสารเคลือบที่มี UVA และ HALS จะมีความทนทานต่อแสงมากขึ้น [49]

Juan และคณะทำการศึกษาผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีต่อการซีดจางและการเกิดสีเหลืองของสารเคลือบหลังการแห้ง โดยการวัดความแตกต่างสีในระบบ CMC ของชั้นฟิล์มที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดต่างๆ จากการศึกษาพบว่า การเกิดสีเหลืองของชั้นฟิล์มสารเคลือบขึ้นกับโครงสร้างของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ และปริมาณของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่เหลืออยู่ ส่วนการซีดจางของสีขึ้นกับโครงสร้างพื้นฐานของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง นอกจากนี้ช่วงการดูดกลืนแสงยังมีผลต่อการเปลี่ยนสีของชั้นฟิล์ม โดยสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงบางชนิดที่มีการดูดกลืนแสงในช่วง near UV จะแสดงการเกิดสีเหลืองมากกว่าสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงส่วนมากที่ไวแสงในช่วง far UV เนื่องจากการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) [50]

Segurolo และคณะทำการศึกษาผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดที่หนึ่ง (Type I) ที่มีความไวแสงในช่วง far UV ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเชิงแสงกับมอนอเมอร์อะคริเลต โดยศึกษาผลต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเชิงแสง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนหลังการดูดกลืนแสงซึ่งทำการตรวจสอบโดยวิธีอัลตราไวโอเลตสเปกโทรสโกปี

(UV Spectroscopy) การวิเคราะห์ด้วยวิธีฟอสฟอเรสเซนส์สเปกโทรสโกปี (Phosphorescence Spectroscopy) ในการศึกษาพลังงานทรูปเปต (Triplet Energies) และ Phosphorescence Quantum Yield การวิเคราะห์ด้วยวิธี Microsecond Flash Photolysis เพื่อศึกษาการเกิดอนุมูลอิสระ (Benzoyl Radical) รวมถึงการศึกษากการเกิดพันธะเชื่อมขวางโดยวิธีเรียลไทม์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Real Time Infrared Spectroscopy; RTIR) เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ในมอนอเมอร์ทั้งในสถานะที่มีและไม่มีออกซิเจน นอกจากนี้ทำการทดสอบความแข็งแรงของชั้นฟิล์มโดยใช้ลูกตุ้ม (Pendulum Hardness) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของชั้นฟิล์มและระดับการเกิดปฏิกิริยาที่ตรวจสอบได้จาก RTIR จากการวิเคราะห์พบว่าความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงขึ้นกับความยาวคลื่นแสงที่สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงสามารถดูดกลืนได้ ส่วนโครงสร้างของสารมีผลในการเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งส่งผลต่อการเกิดพันธะเชื่อมขวางภายในชั้นฟิล์ม [51]

Lecamp และคณะทำการศึกษากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันเชิงแสงของ โอลิโกเมอร์ไดเมทาคริเลต (dimethacrylate oligomer) ที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงคือ 2,2-ไดเมทิล-2-ไฮดรอกซีอะซิโทฟีโนน (2,2-Dimethyl-2-Hydroxy Acetophenone; Darocur 1173) ด้วยวิธี Isothermal Photocalorimetry โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ความเข้มแสง ความเข้มข้นของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันเชิงแสงเกิดได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิใกล้เคียง 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และที่ความเข้มแสงสูงสุดที่ทำการศึกษา 2.7 มิลลิวัตต์/ตร.ซม. [52]

Huang และคณะทำการศึกษาผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงต่อการแห้งของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสีฟ้า จากการศึกษาพบว่า สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่เหมาะสมสำหรับหมึกพิมพ์ต้องมีการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นตรงกับความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ และต้องไม่ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นเดียวกับสารสี นอกจากนี้ ปริมาณของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่เหมาะสมทำให้หมึกพิมพ์ที่ได้มีความไวในการแห้งที่ดี โดยความไวของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงแล้วทำให้ความไวของหมึกพิมพ์ลดลง [53]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 โพรพ็อกซิลเตดนีโอเพนทิลไกลคอลไดอะคริเลต (Propoxylated neopentyl glycol diacrylate; Ebecryl 145) จาก Cytec Surface Specialities Co., Ltd. เมืองนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.2 ไตรโพรพิลีนไกลคอลไดอะคริเลต (Tripropylene glycol diacrylate) จาก Cytec Surface Specialities Co., Ltd. เมืองนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.3 อะลิฟาติกยูรีเทนไดอะคริเลต (Aliphatic urethane diacrylate; Ebecryl 284) จาก Cytec Surface Specialities Co., Ltd. เมืองนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.4 ฟีนิลบิส(2,4,6-ไตรเมทิลเบนโซอิล)-ฟอสฟีนออกไซด์ (Phenylbis(2,4,6-trimethylbenzoyl)-phosphineoxide; Irgacure 2100) จาก Ciba Specialty Chemicals Co., Ltd. เมืองนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.5 2-ไฮดรอกซี-2-เมทิล-1-ฟีนิล-โพรพาน-1-โอร (2-Hydroxy-2-methyl-1-phenyl-propan-1-one; Darocur 1173) จาก Ciba Specialty Chemicals Co., Ltd. เมืองนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.6 บีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานิน (Beta copper phthalocyanine; Hostaperm Blue B2G) จาก Clariant Chemicals Co., Ltd. เมืองวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.7 สารลดฟอง (Antifoam A) จาก Connell Brothers Co.(Thailand), Ltd. เมืองแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.8 สารเพิ่มการยึดติด (Z 6040) จาก Connell Brothers Co.(Thailand), Ltd. เมืองแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.1.9 ไดไอโอดมีเทน (Diiodomethane) จาก Sigma-Aldrich กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

3.1.1.10 ฟอร์มามิด (Formamide) จาก APS Ajax Finechem เมืองออกแลนด์ ประเทศนิวซีแลนด์

3.1.1.11 เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) จาก May&Baker จาก Sigma-Aldrich กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

3.1.1.12 เมทานอล (Methanol) จาก Mallinckrodt จาก Sigma-Aldrich กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

3.1.1.13 เอทานอล (Ethanol) จาก Merck จาก Sigma-Aldrich กรุงเทพมหานคร
ประเทศไทย

3.1.1.14 เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone) จาก Carlo Erba Reagenti
ประเทศอิตาลี

3.1.1.15 เฮกเซน (Hexane) จาก Lab-scan ประเทศโปแลนด์

3.1.1.16 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) จาก Lab-scan ประเทศโปแลนด์

3.1.1.17 โทลูอีน (Toluene) จาก Lab-scan ประเทศโปแลนด์

3.1.1.18 น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องวัดมุมสัมผัส Face Contact-Angle Meter CA-A (เมืองโตเกียว
ประเทศญี่ปุ่น)

3.1.2.2 เครื่องบดหมึก 3-Roll Mill TRM-12 (ประเทศเกาหลี)

3.1.2.3 เครื่องอบแห้งรังสียูวี Fusion F 300 (เมืองแมริแลนด์ ประเทศ
สหรัฐอเมริกา)

3.1.2.4 เครื่องวัดพลังงานรังสียูวี UV Power Puck (ประเทศอังกฤษ)

3.1.2.5 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง Tensile Strength Tester Toyoseiki
Strograph E-S (เมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น)

3.1.2.6 เครื่องทดสอบความทนต่อการขีดข่วน Sheen Automatic Scratch Tester
(เมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ)

3.1.2.7 เครื่องวัดความมันวาว Microsheen 250

3.1.2.8 เครื่อง FT-IR Spectrometer Terkin Elmer Spectrum One (ประเทศ
สหรัฐอเมริกา)

3.1.2.9 เครื่องวัดการไหล Rheometer Antonpaar Phisica MCR 301 (เมืองกราซ
ประเทศออสเตรีย)

3.1.2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด Scanning Electron
Microscope Jeol JSM-6480LV (ประเทศญี่ปุ่น)

3.1.2.11 เครื่อง X-Rite 500 Series Spectrodensitometer (เมืองไมอามี ประเทศ
สหรัฐอเมริกา)

3.1.2.12 เครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter (เมืองอิตลินอยส์ ประเทศ
สหรัฐอเมริกา)

- 3.1.2.13 อุปกรณ์วัดความละเอียด Grindometer
- 3.1.2.14 เครื่องชั่งไฟฟ้า SBC-31 4 ตำแหน่ง
- 3.1.2.15 เครื่อง Hotplate Magnetic Stirrer 34532
- 3.1.2.16 เซลโซเดียมคลอไรด์
- 3.1.2.17 เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
- 3.1.2.18 แท่งแม่เหล็ก
- 3.1.2.19 กระดาษชั่งสาร
- 3.1.2.20 กระดาษฟอยล์
- 3.1.2.21 ถุงมือ
- 3.1.2.22 บล็อกสกรีนและยางปาด
- 3.1.2.23 แผ่นพลาสติกอะคริลิก
- 3.1.1.24 แผ่นใสถ่ายเอกสาร
- 3.1.2.25 เทปกาวใส Scotch 3M Transparent Tape 600 หน้ากว้าง 12 มิลลิเมตร
- 3.1.2.26 เทปโฟมกาวสองหน้า Scotch 3M CAT 110 หน้ากว้าง 21 มิลลิเมตร

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการวัดพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก เพื่อดูแนวโน้มความสามารถในการรับหมึกของแผ่นอะคริลิก จากนั้นทำการเตรียมหมึกพิมพ์โดยเริ่มจากการบดสารสี และผสมหมึกพิมพ์ตามสัดส่วนของการออกแบบของผสม วัดสมบัติของชั้นฟิล์ม นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาสัดส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมมินิแทบ เมื่อได้สัดส่วนของหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมที่สุด แล้วทำการเตรียมหมึกพิมพ์และทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์ ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่ได้ และคุณภาพงานพิมพ์เปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

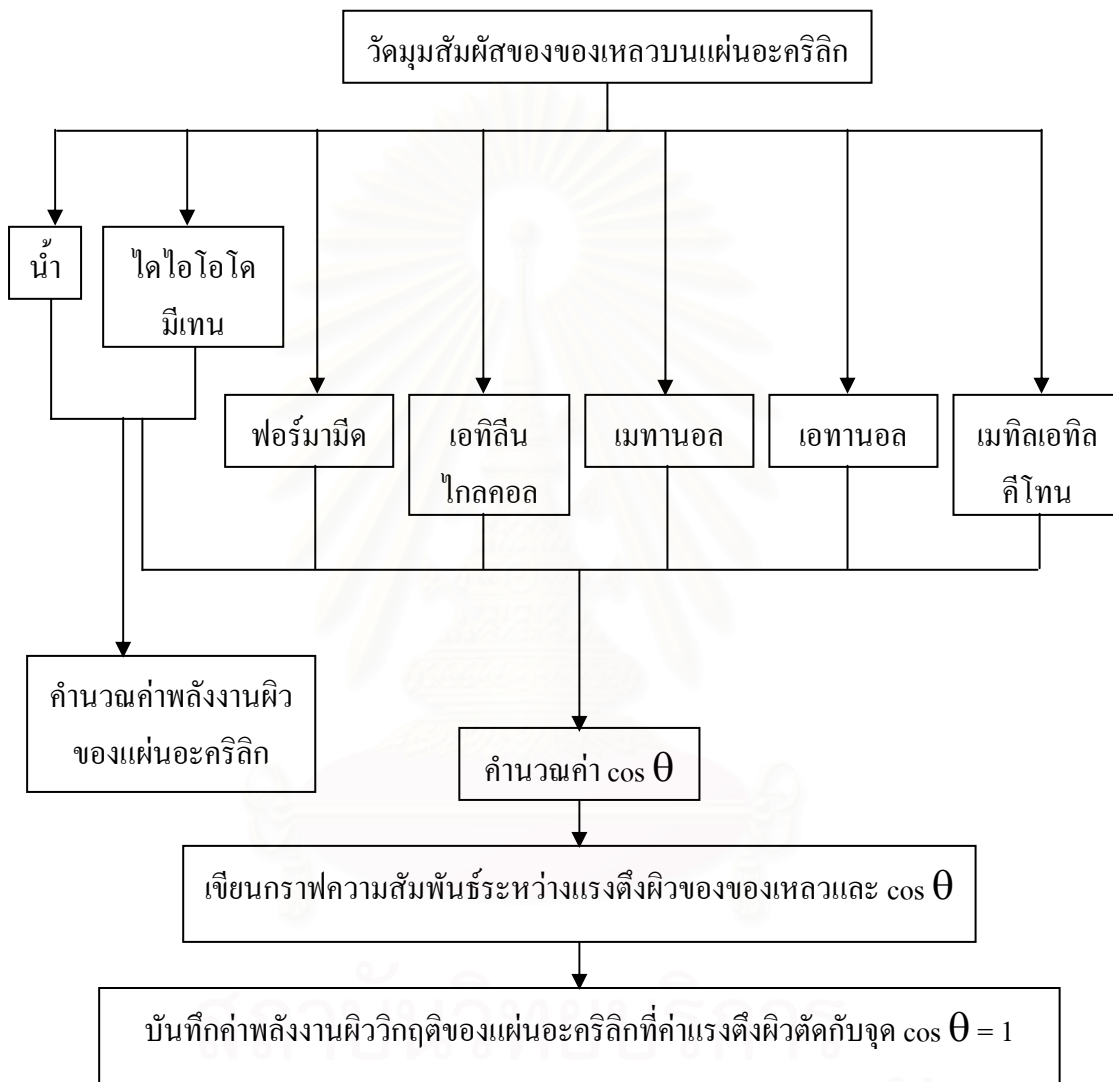
3.2.1 การวัดพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก

1. หยอดไดโอดไอโอดีนบนแผ่นอะคริลิก
2. วัดมุมสัมผัสด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสทั้งด้านซ้ายและขวา
3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-2 อีก 2 ครั้ง
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนไดโอดไอโอดีนเป็นน้ำกลั่น เอทิลีนไกลคอล ฟอร์มาลดีด เอทานอล และเมทานอลตามลำดับ
5. คำนวณพลังงานผิวจากมุมสัมผัสที่วัดได้ด้วยสมการที่ 18 [45, 46]

$$\gamma_{lv}(\cos \theta + 1) = 2[(\gamma_1^d \gamma_s^d)^{1/2} + (\gamma_1^p \gamma_s^p)^{1/2}] \quad (18)$$

6. นำค่า $\cos \theta$ และค่าแรงดึงผิวของของเหลวแต่ละชนิดมาเขียนกราฟเพื่อหาพลังงานผิววิกฤติของวัสดุรองรับ

ขั้นตอนการวัดพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิกแสดงดังภาพที่ 29



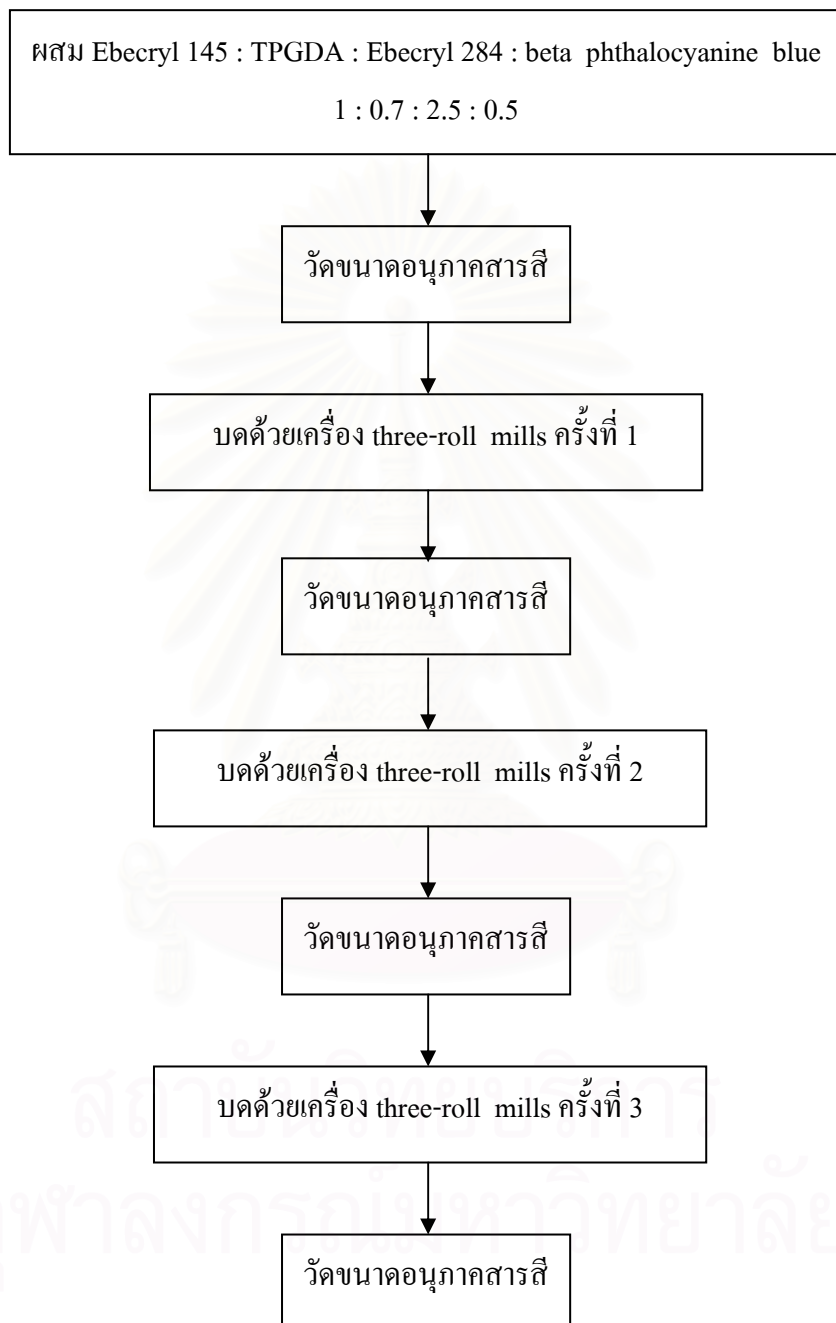
ภาพที่ 29 การวัดพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก

3.2.2 การบดสารสีสำหรับหมึกพิมพ์สกรีนยูวี

1. ทำการบดและกระจายตัวสารสีด้วยเครื่องบด three-roll mills โดยเติม beta phthalocyanine blue ลงในส่วนผสมของ Ebecryl 145 TPGDA และ Ebecryl 284 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Ebecryl 145 : TPGDA : Ebecryl 284 : beta phthalocyanine blue คือ 1 : 0.7 : 2.5 : 0.5 ทำการบด 3 รอบ โดยใช้เวลาการบดในแต่ละรอบเท่ากับ 1.30, 2.00 และ 1.00 นาทีตามลำดับ

2. วัดขนาดสารสีด้วย Grindometer ก่อนและหลังการบดสารสีแต่ละรอบดังแสดง

ในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การบดสารสีสำหรับหมึกพิมพ์สกรีนยูวี

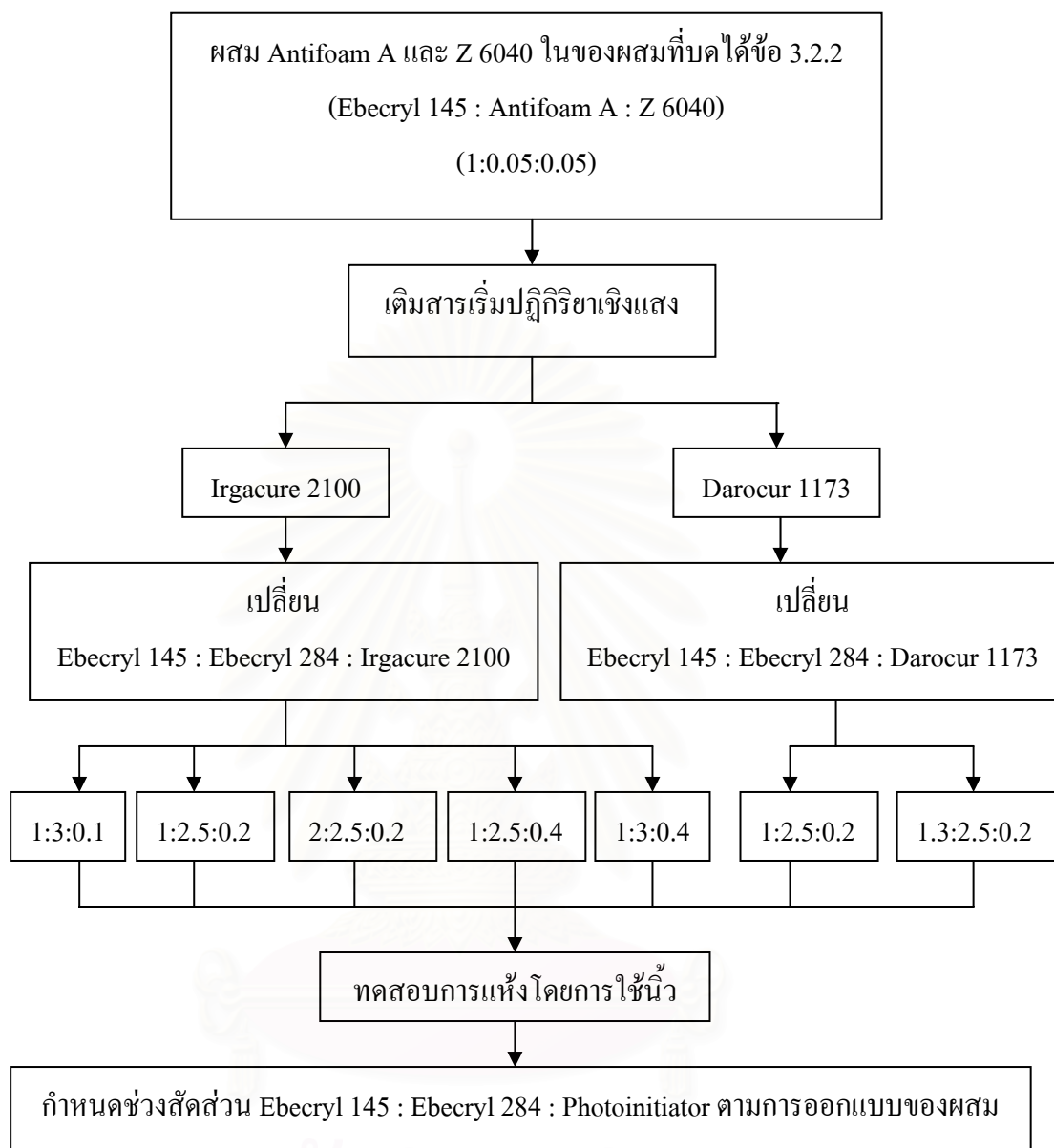
3.2.3 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator

1. นำส่วนผสมที่บดได้ในข้อ 3.2.2 มาเติม Antifoam A และ Z 6040 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Ebecryl 145 ต่อ Antifoam A และ Z 6040 เป็น 1:0.05:0.05 ตามลำดับ

2. นำส่วนผสมจากข้อ 1 มาเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีโดยใช้สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง Irgacure 2100 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Ebecryl 145 ต่อ Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 คือ 1:3:0.1, 1:2.5:0.2, 2:2.5:0.2, 1:2.5:0.4 และ 1:3:0.4 ทำการทดสอบการแห้งของหมึกเบื้องต้นโดยการใช้นิ้ว (Thumb twist test) ดังภาพที่ 31

3. นำส่วนผสมจากข้อ 1 มาเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีโดยใช้สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง Darocur 1173 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Ebecryl 145 ต่อ Ebecryl 284 และ Darocur 1173 คือ 1:2.5:0.2 และ 1.3:2.5:0.2 ทำการทดสอบการแห้งของหมึกเบื้องต้นโดยการใช้นิ้ว (Thumb twist test) ดังภาพที่ 31

4. กำหนดช่วงที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator ที่ใช้ในการออกแบบของผสม



ภาพที่ 31 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator

3.2.4 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีด้วยการออกแบบของผสม และทดสอบชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

1. ผสมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สัดส่วนของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสูตรต่างๆ

สูตร	Ebecryl 145	Ebecryl 284	Irgacure 2100
1	1.100	2.500	0.200
2	1.000	3.000	0.200
3	1.000	2.500	0.400
4	1.050	2.750	0.200
5	1.050	2.500	0.300
6	1.000	2.750	0.300
7	1.030	2.670	0.270
8	1.060	2.580	0.230
9	1.016	2.840	0.230
10	1.016	2.580	0.340

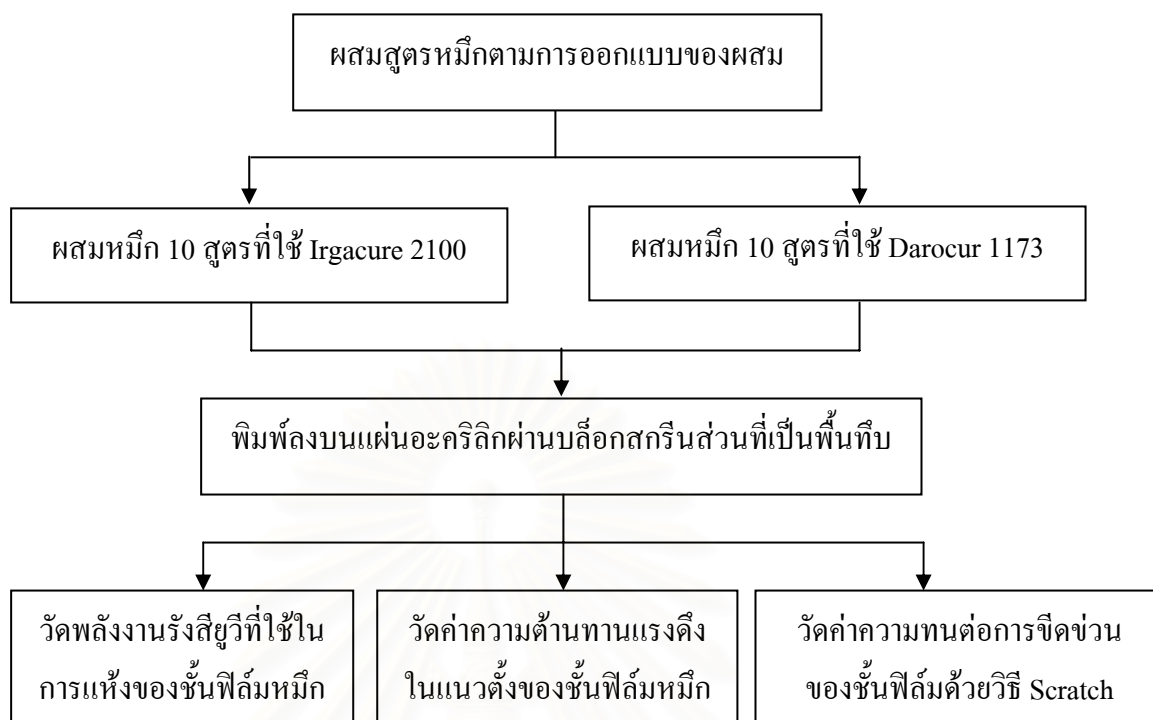
2. นำหมึกแต่ละสูตรมาพิมพ์ผ่านบล็อกสกรีนส่วนที่เป็นพื้นที่

3. วัดค่าพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์

4. วัดค่าความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก โดยการตัดเทปกาวยสองหน้าที่ผิวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์และด้านล่างของวัสดุรองรับ จากนั้นให้แรงดึงในแนวตั้งจากกับพื้นผิวชั้นฟิล์มและวัสดุรองรับด้วยเครื่อง Tensile Strength Tester Toyoseiki Strograph E-S จนกระทั่งชั้นฟิล์มหลุดลอกออกจากผิววัสดุรองรับ พิจารณาค่าการยึดติดจากแรงที่ใช้ดึงจนชั้นฟิล์มหลุดออก

5. วัดค่าความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มด้วยวิธี Scratch Test โดยการให้แรงกดด้วยหัวกดของเครื่อง Scratch tester ลงบนพื้นผิวชั้นฟิล์ม จากนั้นทำการเคลื่อนตัวอย่างทดสอบไปในแนวตั้งจากกับแรงกดเพื่อสังเกตการขีดข่วนของชั้นฟิล์ม หากแรงกดเริ่มต้นไม่ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอยขีดต้องทำการเพิ่มแรงกดจนกระทั่งชั้นฟิล์มเกิดรอย หากแรงกดเริ่มต้นทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอยขีดต้องทำการลดแรงกดจนกระทั่งชั้นฟิล์มไม่เกิดรอย ค่าความทนต่อการขีดข่วนเท่ากับค่าแรงที่เริ่มทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอย

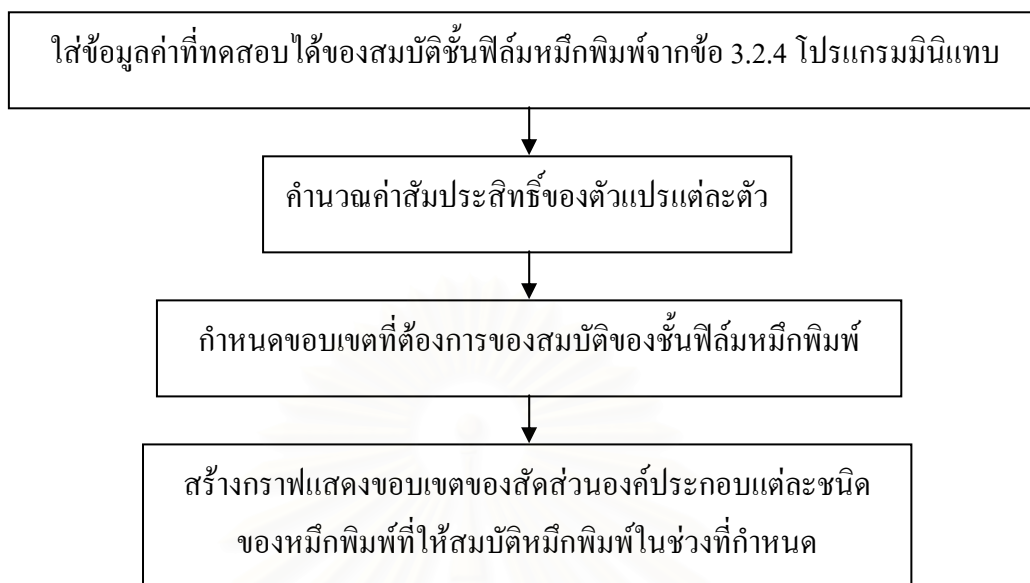
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนชนิดของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Darocur 1173 ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีด้วยการออกแบบของผสมและทดสอบชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

3.2.5 การวิเคราะห์หาสูตรหมึกที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบ

นำค่าพลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง ค่าความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนแผ่นอะคริลิก และค่าความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ของหมึกแต่ละสูตรมาคำนวณเพื่อหาสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากขอบเขตที่กำหนดของสมบัติหมึกพิมพ์ดังกล่าว ขั้นตอนการคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบ

3.2.6 การเตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์

1. เตรียมสูตรหมึกตามสัดส่วนขององค์ประกอบที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.2.5
2. วัดความหนืดด้วยเครื่องวัดการไหล Rheometer Phisica MCR 301 ซึ่งเป็นเครื่องวัดการไหลแบบ Cone-and-plate โดยเพิ่มอัตราเฉือนแก่หมึกพิมพ์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเฉือนและความหนืดของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้
3. พิมพ์หมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ผ่านผ้าสกรีนพื้นที่บนแผ่นอะคริลิก ฉายรังสียูวีให้หมึกแห้ง บนที่กพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์
4. วัดมุมสัมผัสของน้ำและไดโอะ โดมิเทนบนผิวชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวี และคำนวณค่าพลังงานผิวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์
5. วัดความมันวาวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ด้วยเครื่องวัดความมันวาว Microsheen 250 3 ครั้ง
6. ทดสอบความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนแผ่นอะคริลิก 3 ครั้ง
7. ทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์กับวัสดุรองรับด้วยวิธี Cross-Cut Tape Test 3 ครั้ง โดยกรีดบนชั้นฟิล์มเป็นเส้นตรงยาว 20 มม. จำนวน 11 เส้นในแนวตั้ง แต่ละเส้นห่างกัน 1 มม. และกรีดเส้นในแนวนอน 11 เส้นตัดกับแนวตั้ง จะได้แนวรอยกรีดเป็นตารางจากเส้นที่

ตัดกันทั้งแนวตั้งและแนวนอน (cross cut) จากนั้นใช้เทปกาว 3M เบอร์ 600 ติดบนผิวชั้นฟิล์มของหมึกแล้วกดให้เทปแนบสนิทกับผิวชั้นฟิล์ม ทิ้งไว้ประมาณ 60-120 วินาทีแล้วดึงออกในมุม 180 องศา สังเกตการยึดติดของชั้นฟิล์ม โดยแบ่งเป็น 6 ระดับ ดังนี้

5B ไม่มีการหลุดลอกของชั้นฟิล์ม

4B ชั้นฟิล์มหลุดล่อนน้อยกว่า 5%

3B ชั้นฟิล์มหลุดลอก 5-15%

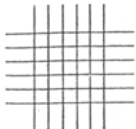
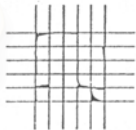


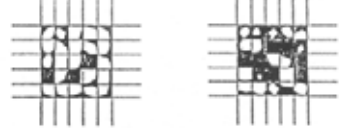
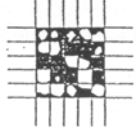
2B ชั้นฟิล์มหลุดลอก 15-35%

1B ชั้นฟิล์มหลุดลอก 35-65% และ

0B ชั้นฟิล์มหลุดลอกมากกว่า 65%

การประเมินระดับของการยึดติดสังเกตได้จากลักษณะของชั้นฟิล์มหลังการทดสอบดังตารางที่ 12 (ASTM D 3359-02) [48]

ตารางที่ 12 ระดับการยึดติดของชั้นฟิล์มจากการทดสอบ Tape Test [48]

ระดับการยึดติด	ร้อยละพื้นที่ของชั้นฟิล์มที่หลุดลอกหลังการทดสอบ	ลักษณะพื้นผิวภายหลังการทดสอบ
5B	0	
4B	< 5%	
3B	5-15%	
2B	15-35%	
1B	35-65%	
0B	> 65%	

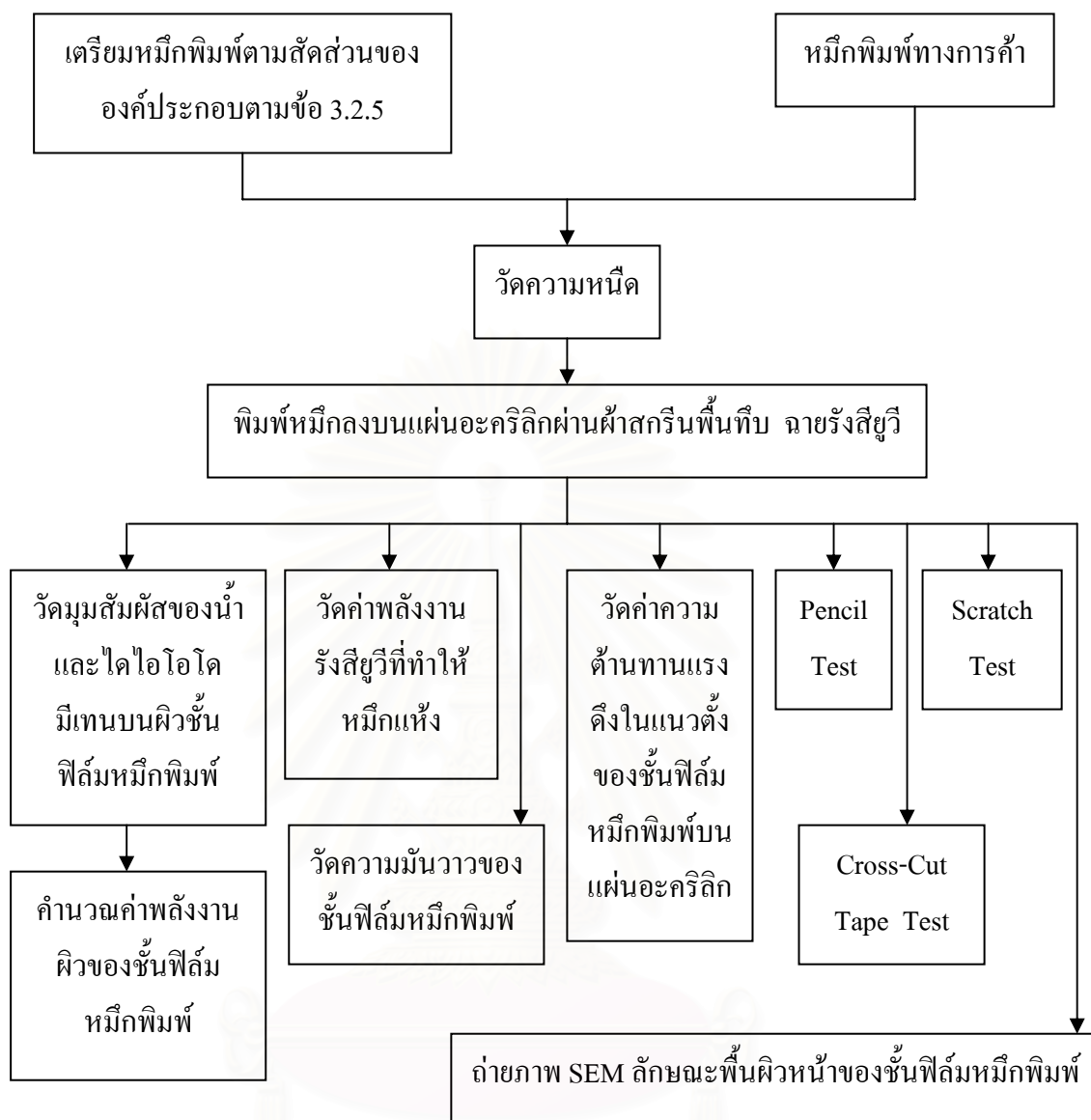
8. ทดสอบความแข็งแรงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ด้วยวิธี Pencil Test 3 ครั้ง โดยขีดบนผิวหน้าชั้นฟิล์มด้วยดินสอเบอร์ต่างๆ ได้แก่ 6B 5B 4B 3B 2B B HB F H 2H 3H 4H 5H 6H ทำการขีดโดยวางดินสอในแนว 45 องศา กับแนวพื้นผิว ความยาวในการขีด 3 มม. ความแข็งแรงของชั้นฟิล์มสามารถแสดงได้สองวิธี คือ Gouge Hardness แสดงด้วยเบอร์ของดินสอที่แข็งที่สุดที่ไม่ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอยตัดจนถึงวัสดุรองรับ และ Scratch Hardness แสดงด้วยเบอร์ของดินสอที่แข็งที่สุดที่ไม่ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอย (ASTM D 3363-05) [48]

9. ทดสอบความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ด้วยวิธี Scratch Test 3 ครั้ง

10. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-9 โดยเปลี่ยนจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้เป็นหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

11. ถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวหน้าของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope Jeol JSM-6480LV

ขั้นตอนการเตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 การเตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์

3.2.7 การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR Spectroscopy)

1. พิมพ์หมึกพิมพ์ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.6 ผ่านผ้าสกกรีนพื้นที่บลงบนเซลล์โซเดียมคลอไรด์
2. ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR Spectroscopy) ด้วยเครื่อง FT-IR Spectrometer Terkin Elmer Spectrum One ก่อนและหลังการฉายรังสียูวี สังเกตการเปลี่ยนแปลงของพีคที่เลขคลื่น 812 cm^{-1}

[17, 47] จากนั้นนำพื้นที่ที่ได้พิกมาคำนวณหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 19 [49]

$$\% \text{ Conversion} = (A_0 - A_t) / A_0 \times 100 \tag{19}$$

เมื่อ A_0 = พื้นที่ที่ได้พิกของกราฟก่อนฉายแสง

A_t = พื้นที่ที่ได้พิกของกราฟหลังฉายแสงเป็นเวลา t

3.2.8 การวิเคราะห์คุณภาพสิ่งพิมพ์

3.2.8.1 การทดสอบความคมชัด

1. ออกแบบแบบทดสอบงานพิมพ์ (Test form) และทำแม่พิมพ์สกรีนโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แบบทดสอบความละเอียดของการพิมพ์เส้นตรงแบบพอลิทีฟและเนกาทีฟดังภาพที่ 35 และแบบทดสอบความละเอียดของการพิมพ์ตัวอักษรภาษาไทยและอังกฤษขนาดต่างๆ แบบพอลิทีฟและเนกาทีฟดังภาพที่ 36



ภาพที่ 35 เส้นขนาดต่างๆ แบบพอลิทีฟและเนกาทีฟ

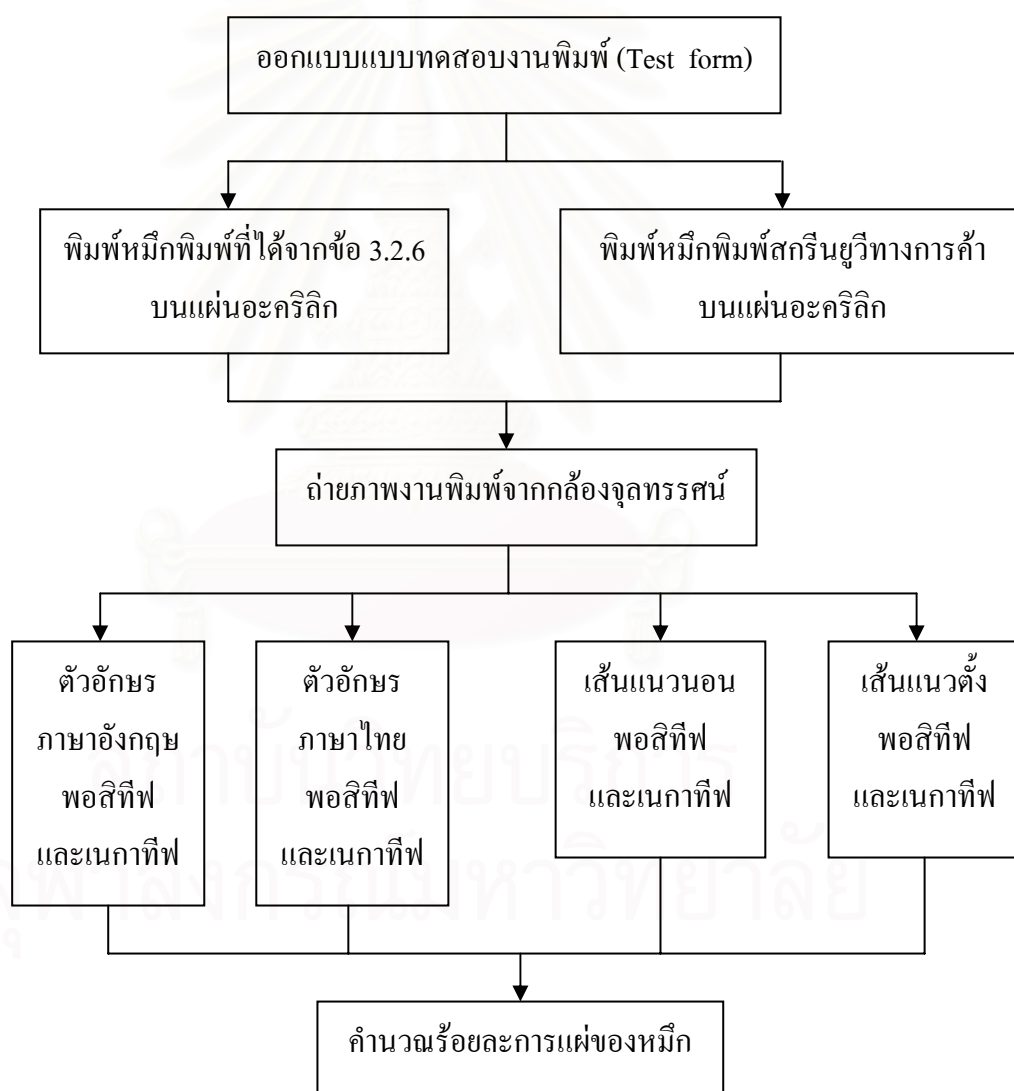


ภาพที่ 36 ตัวอักษรแบบพอลิทีฟและเนกาทีฟ

2. นำสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากข้อ 3.2.6 มาพิมพ์ผ่านแม่พิมพ์ สกรีนที่ได้จากข้อ 1 โดยพิมพ์ลงบนแผ่นอะคริลิก

3. นำแผ่นอะคริลิกที่พิมพ์ได้จากข้อ 2 มาวัดความละเอียดของเส้นและตัวอักษรที่ขนาด 10 พอยต์ทั้งแบบพอลิทีฟและเนกาทีฟดังภาพที่ 37 โดยคำนวณร้อยละการแผ่ของหมึกดังสมการที่ 20

$$\text{ร้อยละการแผ่ของหมึก} = \frac{(\text{ขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้} - \text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}) \times 100}{\text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}} \quad (20)$$



ภาพที่ 37 การทดสอบความคมชัด

3.2.8.2 การทดสอบความทนทานต่อแสง

1. สกัดสารสีออกจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าโดยละลายหมึกพิมพ์ด้วยเฮกเซนแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง นำส่วนที่เหลือบนกระดาษกรองมาละลายอีกครั้งด้วยไดเอทิลอีเทอร์แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นนำส่วนที่เหลือบนกระดาษกรองมาละลายด้วยโทลูอีนแล้วนำไปเซนต์ฟิวส์ เทสารละลายทิ้งแล้วนำของแข็งที่เหลือไปอบในตู้อบเพื่อนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

2. นำสิ่งที่ได้จากข้อ 1 มาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเปรียบเทียบกับสารสี Hostaperm Blue B2G

3. นำสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากข้อ 3.2.6 มาพิมพ์ผ่านผ้าสกรีนพื้นที่บบนแผ่นอะคริลิก

4. วัดค่าการสะท้อนแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ในช่วง 400-700 นาโนเมตร

5. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ (K coefficient)

6. ทดสอบความทนทานต่อแสงโดยนำแผ่นอะคริลิกที่พิมพ์ได้จากข้อ 3 มาฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter แหล่งกำเนิดแสง xenon arc lamp 4500 วัตต์ วัดค่าสี CIE L*a*b* ก่อนและหลังการฉายแสงเป็นเวลา 500 ชั่วโมง และ 1000 ชั่วโมง บันทึกค่าสีที่เปลี่ยนแปลง (ΔE^*_{ab}) โดยคำนวณดังสมการที่ 21 [49]

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^*^2 + \Delta a^*^2 + \Delta b^*^2)^{1/2} \quad (21)$$

เมื่อ ΔL^* , Δa^* และ Δb^* คือการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง ค่า Redness และค่า Yellowness ของตัวอย่างสิ่งพิมพ์ก่อนและหลังการฉายแสงด้วย xenon arc lamp ตามลำดับ

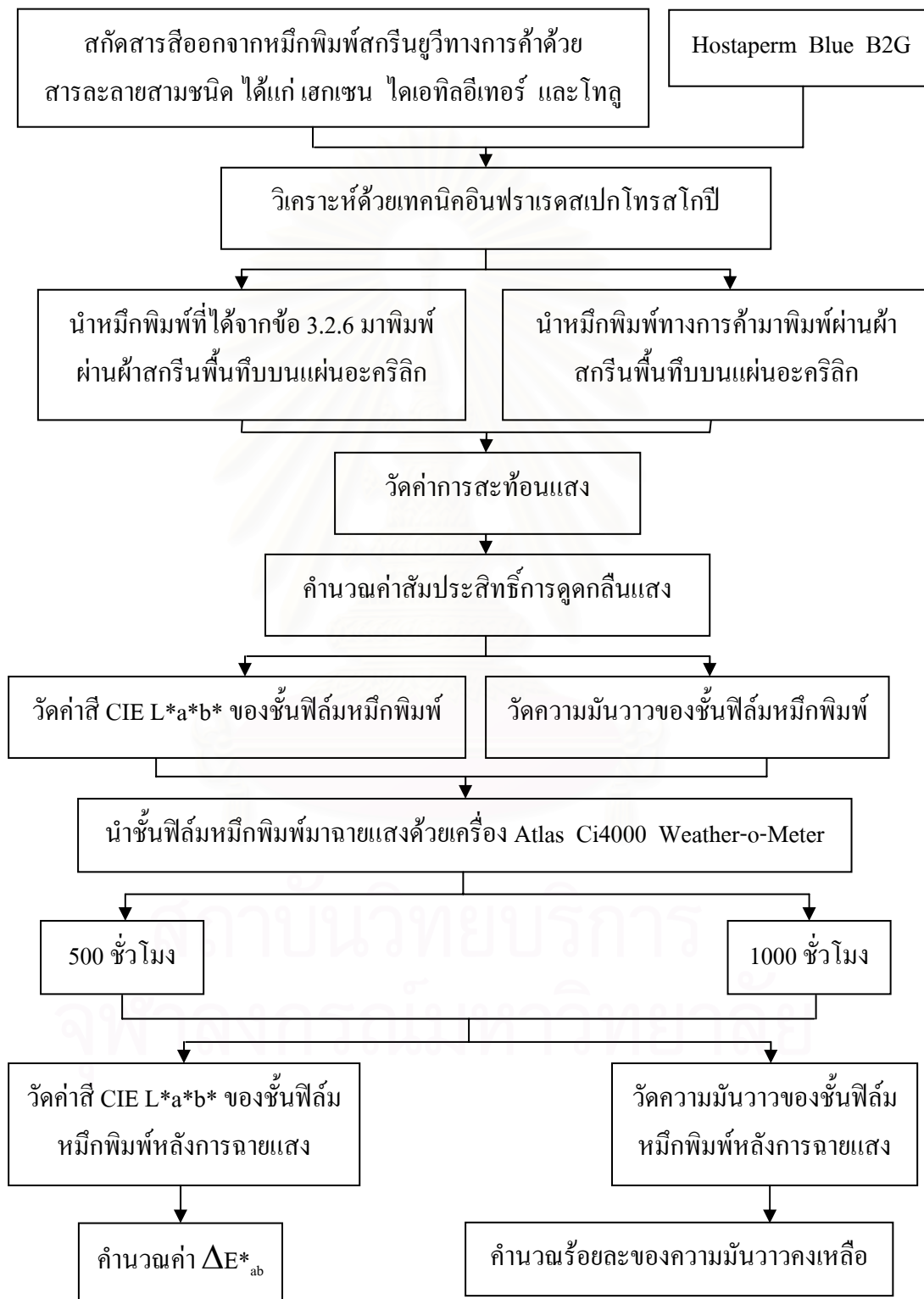
7. วัดความมันวาวของแผ่นตัวอย่างสิ่งพิมพ์ทดสอบจากข้อ 3 ก่อนและหลังฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter เป็นเวลา 500 ชั่วโมง และ 1000 ชั่วโมง นำมาคำนวณร้อยละของความมันวาวคงเหลือเทียบกับค่าความมันวาวที่วัดก่อนการฉายแสงดังสมการที่ 22 [49]

$$\% \text{ Gloss Retention} = (G_r/G_i) \times 100 \quad (22)$$

เมื่อ G_i = ค่าความมันวาวก่อนการฉายแสง

G_r = ค่าความมันวาวหลังการฉายแสง

- 8. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3-7 โดยเปลี่ยนเป็นหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า
- 9. เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสิ่งพิมพ์บนแผ่นอะคริลิกที่ได้จากสูตรหมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การทดสอบความทนทานต่อแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 พลังงานผิวของแผ่นอะคริลิก

มุมสัมผัสของหยดน้ำและไดไอโอโดมีเทนบนผิวหน้าของแผ่นอะคริลิกแสดงดังตารางที่ 13 จากการคำนวณพบว่า แผ่นอะคริลิกมีค่าพลังงานผิวเท่ากับ 55.8 Dyne/cm

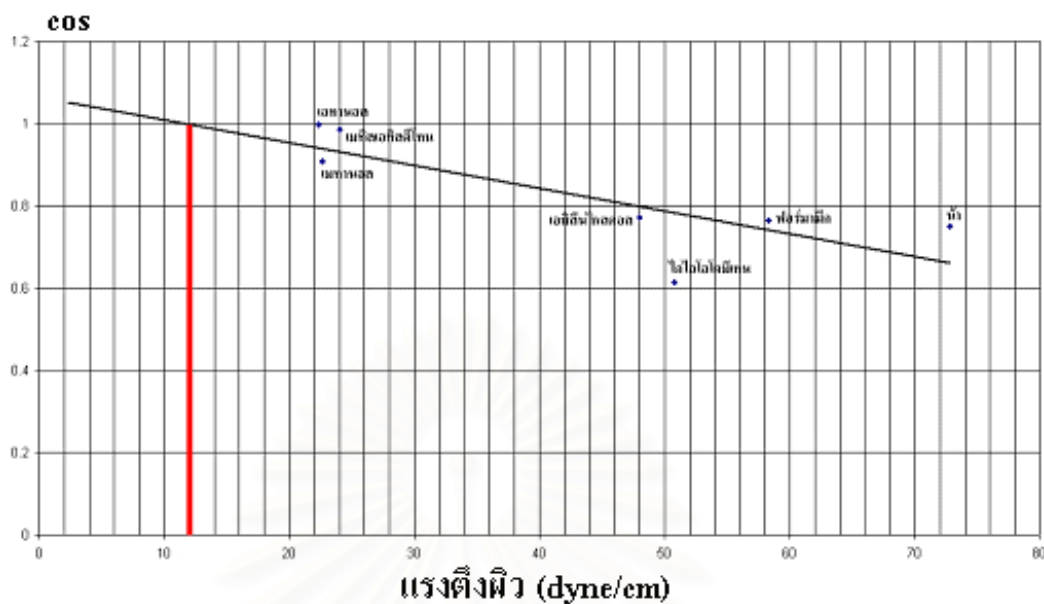
ตารางที่ 13 มุมสัมผัสของน้ำและไดไอโอโดมีเทนบนแผ่นอะคริลิก

ของเหลว	มุมสัมผัสบนแผ่นอะคริลิก (องศา)						เฉลี่ย
	ซ้าย (ครั้งที่)			ขวา (ครั้งที่)			
	1	2	3	1	2	3	
น้ำ	40.5	49.0	39.5	39.0	40.0	40.0	41.3
ไดไอโอโดมีเทน	53.0	50.5	47.0	53.5	54.0	55.0	52.2

มุมสัมผัสของของเหลวอีก 5 ชนิดบนผิวของแผ่นอะคริลิกได้แก่ ฟอรั่มามิด เอทิลีนไกลคอล คอล เมทานอล เอทานอล และเมทิลเอทิลคีโตนแสดงในตารางที่ 14 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\cos \theta$ และค่าแรงดึงผิวของของเหลวแต่ละชนิด แสดงในภาพที่ 39

ตารางที่ 14 มุมสัมผัสบนแผ่นอะคริลิกของของเหลวชนิดต่างๆ

ของเหลว	มุมสัมผัสบนแผ่นอะคริลิก (องศา)						เฉลี่ย
	ซ้าย (ครั้งที่)			ขวา (ครั้งที่)			
	1	2	3	1	2	3	
ฟอรั่มามิด	45.5	39.0	44.5	38.5	33.5	40.0	40.2
เอทิลีนไกลคอล	39.0	43.0	36.5	44.0	39.5	35.5	39.6
เมทานอล	29.5	25.5	29.0	23.0	16.5	25.5	24.8
เอทานอล	7.0	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0	3.2
เมทิลเอทิลคีโตน	11.5	10.5	7.0	12.0	16.0	0.0	9.5



ภาพที่ 39 พลังงานผิววิกฤติของแผ่นอะคริลิก

จากภาพที่ 39 พบว่าจุดตัดแกนนอนเมื่อ $\cos \theta = 1$ คือ 12 dyne/cm ดังนั้นพลังงานผิววิกฤติของแผ่นอะคริลิกมีค่าประมาณ 12 Dyne/cm

4.2 เตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวี

จากการบดและกระจายตัวสารสี Hostaperm Blue B2G ในมอนอเมอร์ Ebecryl 145 และ TPGDA และ โอลิโกเมอร์ Ebecryl 284 โดยใช้เครื่องบดหมึก three-roll mills พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการบดมีผลทำให้อนุภาคของสารสีมีขนาดเล็กลงเนื่องจากการแตกออกของสารสีที่เกาะกลุ่มกัน จำนวนรอบของการบดและขนาดของสารสีที่ได้แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ขนาดอนุภาคของสารสีภายหลังการบดด้วย three-roll mills ที่จำนวนรอบต่างๆ

จำนวนรอบการบด	ขนาดอนุภาคสารสี (μm)
0	>25
1	13
2	5
3	5

จากตารางที่ 15 พบว่าสารสีมีขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อจำนวนรอบการบดเพิ่มขึ้น โดยขนาดอนุภาคเริ่มต้นของสารสีใหญ่กว่า 25 ไมโครเมตร หลังจากบดรอบแรกและรอบที่สองพบว่า

ขนาดอนุภาคของสารสีที่เกาะกลุ่มกันมีการแยกตัวออกจากกันทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงจนถึงขนาด 5 ไมโครเมตร ส่วนในรอบที่สามเป็นการบดเพื่อช่วยให้สารสีกระจายตัวดีขึ้น

4.3 การหาช่วงปริมาณที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator สำหรับการออกแบบของผสม

จากการทดสอบการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เบื้องต้น โดยวิธีใช้น้ำของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีการเปลี่ยนสัดส่วนของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator คือ Irgacure 2100 และ Darocur 1173 พบว่าสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบมีผลต่อการแห้งของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีปริมาณของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator ต่างๆ

สูตร	EB 145 : EB 284 : IC 2100* (g : g : g)	EB 145 : EB 284 : DC 1173* (g : g : g)	การแห้ง ของชั้นฟิล์ม	จำนวน รอบการ ฉายแสง
1	1.0 : 2.5 : 0.2	-	แห้ง	5
2	1.0 : 2.5 : 0.4	-	แห้ง	1
3	1.0 : 3.0 : 0.4	-	แห้ง	1
4	1.0 : 3.0 : 0.1	-	ไม่แห้ง	**
5	2.0 : 2.5 : 0.2	-	ไม่แห้ง	**
6	-	1.0 : 2.5 : 0.2	แห้ง	5
7	-	1.3 : 2.5 : 0.2	แห้ง	9

* EB = Ebecryl, IC = Irgacure และ DC = Darocur

** ชั้นฟิล์มไม่แห้ง

จากตารางที่ 16 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณ Ebecryl 145 : Ebecryl 284 : Irgacure 2100 เป็น 1.0 : 2.5 : 0.2 (สูตร 1) ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งหลังการฉายรังสียูวีเนื่องจากปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเพียงพอที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยเกิดการแตกตัวของ Irgacure 2100 ได้อนุมูลอิสระซึ่งเกิดปฏิกิริยาการเติมเข้าที่พันธะคู่ของหมู่เอคริเลตในโอลิโกเมอร์ทำให้พันธะคู่เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยวและเกิดโอลิโกเมอร์ที่มีอิเล็กตรอนอิสระสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโอลิโกเมอร์โมเลกุลอื่นๆ หรือในมอนอเมอร์ที่มีหมู่เอคริเลต (Ebecryl 145) ต่อไปได้จนเกิดเป็นพอลิเมอร์ที่

มีโครงข่าย 3 มิติ ต่อไปได้จนคิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงข่าย 3 มิติทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและแข็งแรง เมื่อคงปริมาณของ Ebecryl 145 และ Ebecryl 284 แต่เพิ่มปริมาณของ Irgacure 2100 จาก 0.2 เป็น 0.4 (สูตร 2) พบว่าชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งเร็วขึ้น โดยการผ่านเครื่องทำแห้งยูวีที่ความเร็วสายพาน 10 เมตรต่อนาทีเพียง 1 รอบ เท่านั้น การเพิ่มปริมาณ Irgacure 2100 ซึ่งเป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีผลทำให้การแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เกิดเร็วขึ้นเพราะมีปริมาณอนุมูลอิสระจากการแตกตัวของ Irgacure 2100 มากขึ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับโพลิโกเมอร์เป็นโพลิโกเมอร์ที่มีอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยากับโพลิโกเมอร์โมเลกุลอื่นๆ เป็นพอลิเมอร์ได้เร็วขึ้น จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ Ebecryl 284 (โพลิโกเมอร์) จาก 2.5 เป็น 3.0 (สูตร 3) โดยคงปริมาณของ Ebecryl 145 และ Irgacure 2100 พบว่าการแห้งตัวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เกิดได้เร็วเหมือนสูตร 2 ซึ่งมีปริมาณ Irgacure 2100 เท่ากัน แต่เมื่อลดปริมาณของ Irgacure 2100 จาก 0.4 เป็น 0.1 (สูตร 4) พบว่าชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ไม่แห้งหลังการฉายรังสียูวีเนื่องจากปริมาณสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีน้อยเกินไป ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของ Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 ที่ทำให้ชั้นฟิล์มแห้งสามารถกำหนดได้ในช่วง 2.5-3.0 และ 0.2-0.4 ตามลำดับ

เมื่อเพิ่มปริมาณของ Ebecryl 145 จาก 1.0 เป็น 2.0 (สูตร 5) โดยใช้ปริมาณที่เหมาะสมของ Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 ตามที่ได้จากผลการทดลองสูตร 1-4 พบว่าชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่ได้ไม่แห้งหลังการฉายรังสียูวี แสดงว่าปริมาณ Ebecryl 145 ที่มากเกินไปมีผลทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ไม่แห้ง เนื่องจาก Ebecryl 145 เป็นมอนอเมอร์มีหน้าที่เป็นตัวเจือจาง (ลดความหนืดของหมึก) และอาจเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นพอลิเมอร์ได้ เมื่อใช้ปริมาณมากเกินไปทำให้โพลิโกเมอร์เกิดปฏิกิริยาได้โครงข่าย 3 มิติ ที่ไม่มากพอ สมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ซึ่งได้จากโพลิโกเมอร์จึงเปลี่ยนไปในสูตรนี้จึงไม่เกิดการแห้งของชั้นฟิล์ม เมื่อทดลองเปลี่ยนสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงจาก Irgacure 2100 เป็น Darocur 1173 โดยใช้ปริมาณ Ebecryl 145 : Ebecryl 284 : Darocur 1173 เป็น 1.0 : 2.5 : 0.2 (สูตร 6) พบว่าชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งหลังการฉายรังสียูวีเช่นเดียวกับการใช้ Irgacure 2100 ในสูตร 1 ดังนั้นจึงสามารถกำหนดปริมาณ Darocur 1173 ที่เหมาะสมได้ในขอบเขตเดียวกับ Irgacure 2100 และเมื่อเพิ่มปริมาณ Ebecryl 145 เป็น 1.3 (สูตร 7) พบว่าต้องใช้จำนวนรอบการฉายแสงมากขึ้นในการทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง เนื่องจากปริมาณของมอนอเมอร์มีมากเกินไป ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของ Ebecryl 145 ที่ทำให้ชั้นฟิล์มแห้งสามารถกำหนดได้ในช่วง 1.0-1.1

ดังนั้นขอบเขตปริมาณของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง (Irgacure 2100 และ Darocur 1173) ที่สามารถใช้ในสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ให้การแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ คือ อัตราส่วนในช่วง 1.0-1.1 : 2.5-3.0 : 0.2-0.4 ตามลำดับ

4.4 สมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ของสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการออกแบบของผสม

จากการกำหนดขอบเขตของปริมาณ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Photoinitiator เป็น 1.0-1.1, 2.5-3.0 และ 0.2-0.4 ตามลำดับ ทำการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนยูวีโดยการเปลี่ยนสัดส่วนของ Ebecryl 145 Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 ตามสัดส่วนที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบจำนวน 10 สูตร และเปลี่ยนสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Darocur 1173 อีก 10 สูตร โดยค่าพลังงานแสงที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง ค่าความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก และค่าความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มด้วยวิธี Scratch Test แสดงดังตารางที่ 17 และ 18

ตารางที่ 17 พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สูตรที่มี Irgacure 2100

สูตร	พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มแห้ง (mJ/cm ²)	สมบัติของชั้นฟิล์ม	
		ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้ง (Kg)	ความทนต่อการขีดข่วน (g)
1	2682	>19.02 ± 2.32	400 ± 57
2	2384	>20.81 ± 2.85	300 ± 0
3	298	>20.40 ± 1.53	700 ± 115
4	2384	>20.11 ± 3.29	400 ± 115
5	2384	>19.81 ± 1.15	500 ± 57
6	1490	>17.09 ± 2.33	300 ± 115
7	1788	>16.52 ± 2.16	400 ± 0
8	2086	>16.82 ± 0.55	400 ± 57
9	596	>13.76 ± 1.90	400 ± 100
10	298	>13.41 ± 1.38	800 ± 360

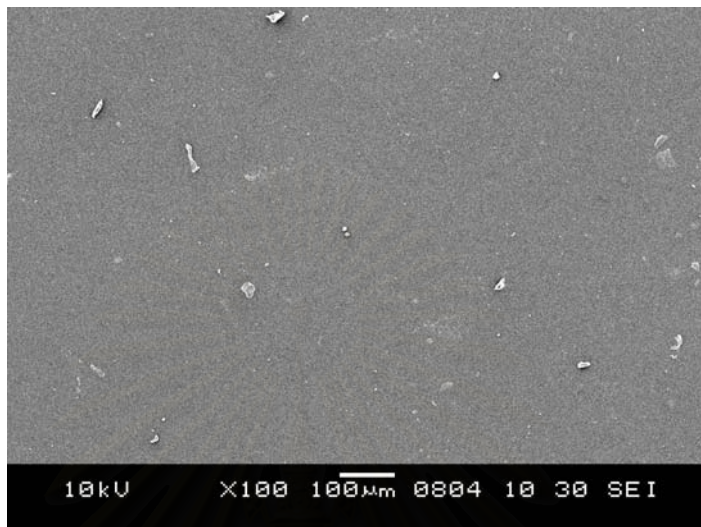
ตารางที่ 18 พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สูตรที่มี Darocur 1173

สูตร	พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มแห้ง (mJ/cm ²)	สมบัติของชั้นฟิล์ม	
		ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้ง (Kg)	ความทนต่อการขีดข่วน (g)
1	-*	-*	-*
2	5960	11.99 ± 1.64	25 ± 0
3	1192	9.08 ± 2.16	25 ± 101
4	4470	8.96 ± 2.77	50 ± 28
5	3278	12.97 ± 1.03	25 ± 14
6	1192	9.81 ± 0.72	25 ± 0
7	3576	11.98 ± 1.68	25 ± 0
8	4470	11.33 ± 2.11	25 ± 14
9	7450	10.89 ± 2.16	50 ± 0
10	7450	13.51 ± 0.61	100 ± 0

* ไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากชั้นฟิล์มไม่แห้ง

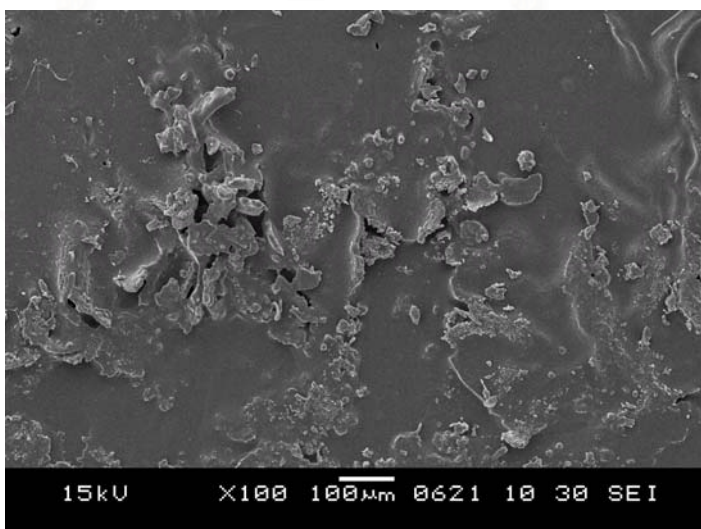
จากตารางที่ 17 และ 18 พบว่าการเปลี่ยนสัดส่วนของมอนอเมอร์ (Ebecryl 145) โอลิโกเมอร์ (Ebecryl 284) และสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง (Irgacure 2100 และ Darocur 1173) มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนแผ่นอะคริลิก และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่ได้ โดยพบว่าผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มทุกสูตรที่ใช้ Irgacure 2100 มีค่ามากกว่าค่าที่สามารถวัดได้จากเครื่อง แสดงว่าชั้นฟิล์มที่ได้จากหมึกพิมพ์ที่ใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิกที่ดีเหมือนกันทุกสูตร และไม่สามารถบอกความแตกต่างได้จากการทดสอบด้วยวิธีนี้ ส่วนสูตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีความไวแสง ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มต่ำเมื่อเทียบกับสูตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง เนื่องจาก Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ช่วยในการแห้งที่ผิวหน้าชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการกั้นแสงของผิวหน้าชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่แห้งก่อนทำให้บริเวณด้านล่างฟิล์มของหมึกไม่แห้งอย่างสมบูรณ์ จึงได้ชั้นฟิล์มที่ไม่แข็งแรง ต้องใช้พลังงานรังสียูวีสูงในการทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง นอกจากนี้ชั้นฟิล์มหมึก

พิมพ์ที่ได้ยังมีลักษณะแตกและผิวไม่เรียบ ลักษณะพื้นผิวชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มี Irgacure 2100 และ Darocur 1173 เป็นองค์ประกอบแสดงในภาพที่ 40 และ 41 ตามลำดับ



ภาพที่ 40 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 100 เท่าของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง

จากภาพที่ 40 หลังการพิมพ์บนแผ่นพลาสติกอะคริลิกด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Irgacure 2100 และฉายรังสียูวีเพื่อให้ชั้นฟิล์มแห้งแล้ว พบว่าพื้นผิวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์มีลักษณะเรียบ ไม่มีการแตกหรือการหลุดตัวของชั้นฟิล์ม แสดงว่าชั้นฟิล์มเกิดการแห้งอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 41 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 100 เท่าของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ใช้ Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง

จากภาพที่ 41 หลังการพิมพ์บนแผ่นพลาสติกอะคริลิกด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Darocur 1173 และฉายรังสียูวีเพื่อให้ชั้นฟิล์มแห้งแล้ว พบว่าพื้นผิวของชั้นฟิล์มมีลักษณะไม่เรียบ มีรอยแตกย่นของชั้นฟิล์มบริเวณผิวด้านบนชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ซึ่งอาจเป็นผลทำให้การยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ทุกสูตรที่ใช้ Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีค่าน้อยกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง ซึ่งเป็นผลมาจาก Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ช่วยในการแห้งด้านบนของชั้นฟิล์ม ทำให้เกิดการกั้นแสงที่ด้านล่างของชั้นฟิล์ม ดังนั้นการใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงจึงให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่มีสมบัติดีกว่า Darocur 1173 ในทุกด้าน

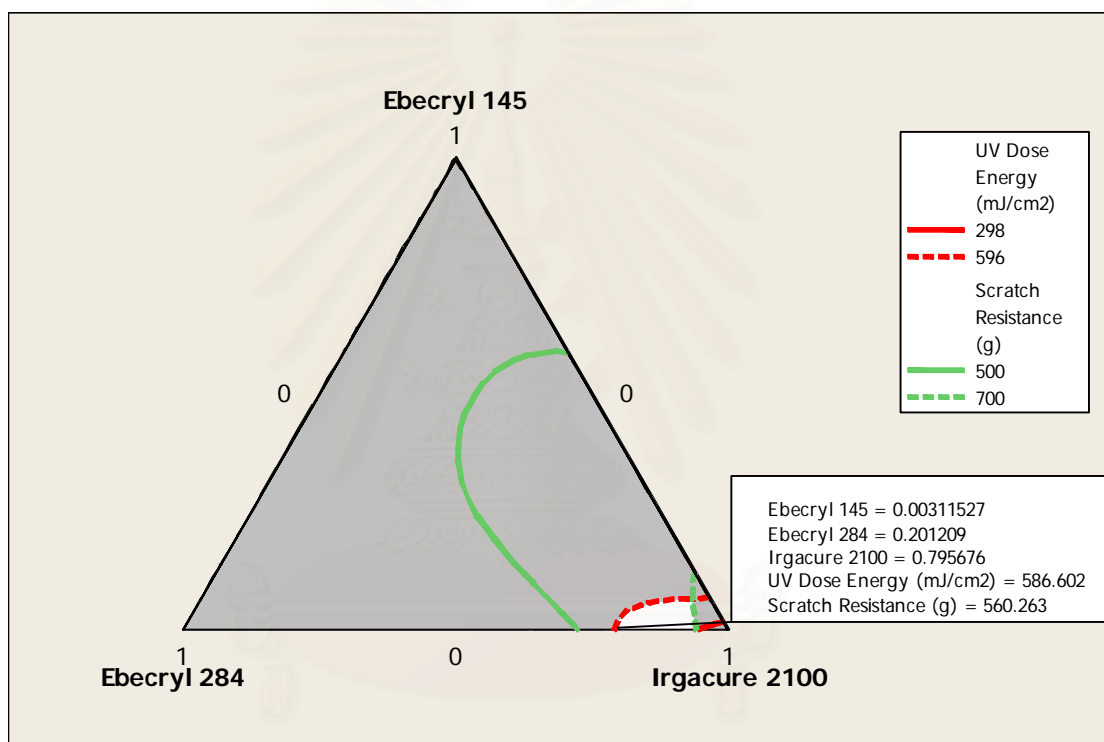
4.5 การคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมมินิแทบ

จากผลการทดลองในข้อ 4.4 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มี Darocur 1173 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดเดียวให้ชั้นฟิล์มที่ไม่แข็งแรง และต้องใช้พลังงานในการแห้งของหมึกสูง นอกจากนี้ชั้นฟิล์มที่ได้ยังเกิดการแตกที่ผิวน้ำ การคำนวณสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุดจึงพิจารณาเฉพาะสูตรที่มี Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง และเนื่องจากผลความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิกมีแนวโน้มเหมือนกันทุกสูตร คือมีการหลุดก่อนได้ค่าตัวเลขที่แน่นอน ในการคำนวณหาสูตรหมึกที่เหมาะสมที่สุดจึงพิจารณาจากพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เท่านั้น จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละตัวโดยใช้ค่าพลังงานรังสียูวีในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์และความทนต่อการขีดข่วนดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 สัมประสิทธิ์ของตัวแปรจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบ

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	
	คำนวณจากพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์ม	คำนวณจากความทนต่อการขีดข่วน
Ebecryl 145	2765.660	371.390
Ebecryl 284	2169.660	298.663
Irgacure 2100	192.027	762.299
Ebecryl 145*Ebecryl 284	-857.348	140.107
Ebecryl 145*Irgacure 2100	3531.380	-132.620
Ebecryl 284*Irgacure 2100	-44.620	-678.075
Ebecryl 145*Ebecryl 284*Irgacure 2100	-24926.800	2541.180

หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละตัวโดยคำนวณจากพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มแล้วจึงทำการเขียนกราฟแสดงขอบเขตของสูตรหมึกที่เหมาะสม โดยกำหนดขอบเขตของพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มอยู่ในช่วง 298-596 mJ/cm² และขอบเขตความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มอยู่ในช่วง 500-700 กรัม ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้พลังงานรังสียูวีในการทำให้ชั้นฟิล์มแห้งน้อยที่สุดและมีความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มมากที่สุด ขอบเขตของสูตรหมึกที่เหมาะสมแสดงดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 ขอบเขตของสูตรหมึกที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบ

จากภาพที่ 42 พื้นที่สีขาวที่เกิดจากการตัดกันของขอบเขตของพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกและความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มคือขอบเขตของสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสม โดยสัดส่วนที่เหมาะสมของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 อยู่ในช่วง 0.00 - 0.07, 0.03 - 0.20 และ 0.78 - 0.93 ตามลำดับ คิดเป็นน้ำหนักจริง 1.000-1.007 กรัม, 2.515-2.600 กรัม และ 0.356-0.386 กรัม ตามลำดับ ซึ่งหมึกพิมพ์ที่ได้มีขอบเขตของค่าพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มอยู่ในช่วง 298-596 mJ/cm² และขอบเขตความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มอยู่ในช่วง 500-700 กรัม ในที่นี้จะทำการเลือกสัดส่วนขององค์ประกอบทั้งสามจากภายในขอบเขตซึ่งได้สัดส่วนของ Ebecryl 145 เท่ากับ 0.00 คิดเป็นน้ำหนักจริง 1.000 กรัม สัดส่วนของ

Ebecryl 284 เท่ากับ 0.20 คิดเป็นน้ำหนักจริง 2.600 กรัม และสัดส่วนของ Irgacure 2100 เท่ากับ 0.80 คิดเป็นน้ำหนักจริง 0.360 กรัม จากสัดส่วนดังกล่าวได้ค่าพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มที่ทำนายจากโปรแกรมมินิแทบเท่ากับ 586.6 mJ/cm^2 และ 560.3 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นองค์ประกอบของสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีและปริมาณที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 สูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบ

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Ebecryl 145	1.00	19.01
TPGDA	0.70	13.31
Ebecryl 284	2.60	49.43
Hostaperm Blue B2G	0.50	9.51
Antifoam A	0.05	0.95
Z 6040	0.05	0.95
Irgacure 2100	0.36	6.84

4.6 เตรียมหมึกพิมพ์ตามสูตรที่ได้จากการคำนวณและทดสอบการเกิดชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์

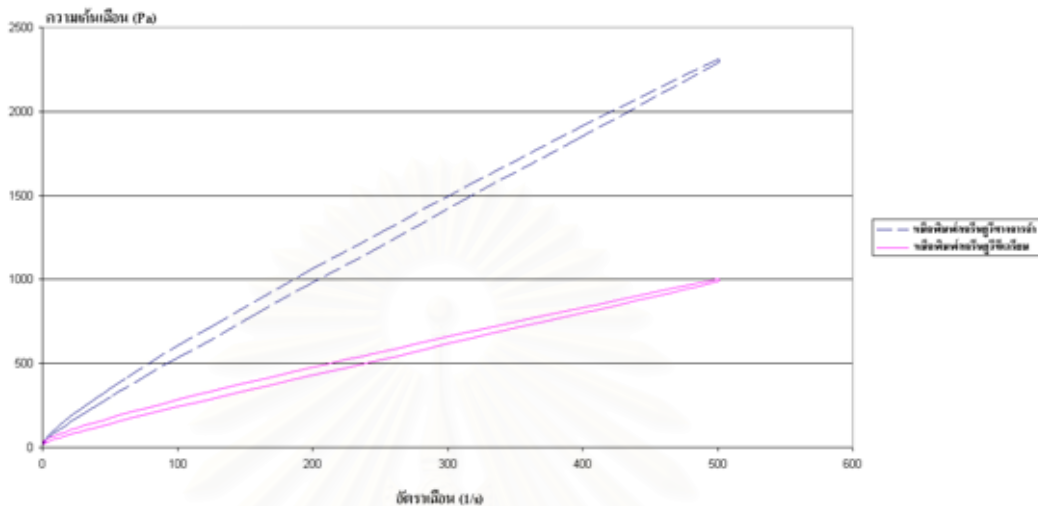
เตรียมสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีตามสัดส่วนที่คำนวณได้จากโปรแกรมมินิแทบในตารางที่ 20 แล้วทำการวัดความหนืดของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้เทียบกับหมึกพิมพ์ทางการค้า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ความหนืดของสูตรหมึกที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทบและหมึกสกรีนยูวีทางการค้า

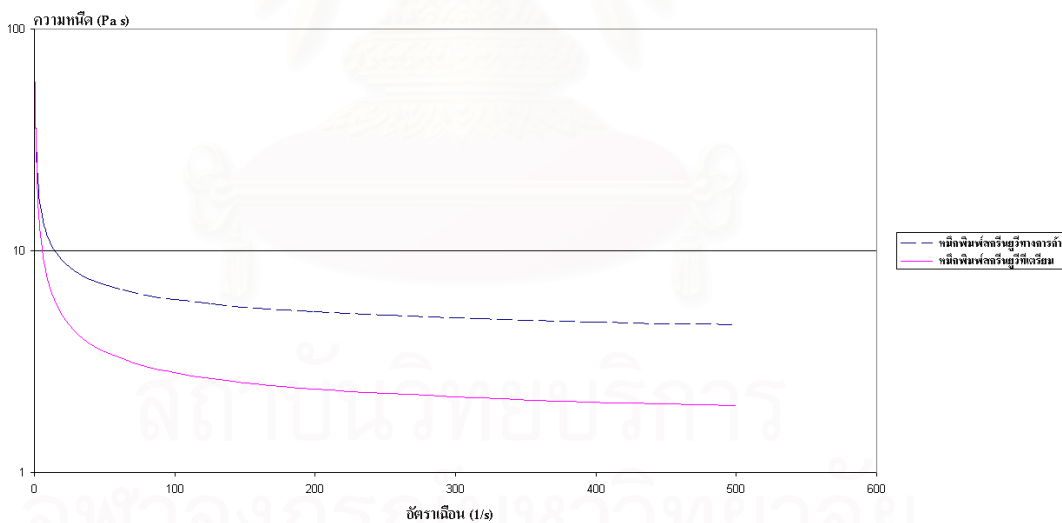
หมึก	ความหนืด (Pa s)
หมึกสกรีนยูวีที่เตรียมจากโปรแกรมมินิแทบ	1.99
หมึกสกรีนยูวีทางการค้า	4.62

จากตารางที่ 21 หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความหนืดเท่ากับ 1.99 Pa s ซึ่งตรงกับค่าความหนืดตามทฤษฎีของหมึกพิมพ์สกรีนที่มีค่าระหว่าง 1.5-2.0 Pa s [11] ส่วนหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีความหนืดเท่ากับ 4.62 Pa s ซึ่งสูงกว่าค่าตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติอาจมีการเจือจางหมึกด้วยตัวเจือจางก่อนการใช้งาน เพื่อปรับความหนืดของหมึกให้ได้ตามต้องการ

สำหรับสมบัติการไหลของหมึกพิมพ์สกรีน สามารถพิจารณาได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเฉือนเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าและหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้



ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าและหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

จากภาพที่ 43 อัตราเฉือนและความเค้นเฉือนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มนเดียวกัน กล่าวคือเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ความเค้นเฉือนจะเพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราเฉือนลดลง ความเค้นเฉือนจะลดลง แต่ลักษณะการเพิ่มและลดของความเค้นเฉือนมีความแตกต่างกัน สังเกตได้จากลักษณะเส้นกราฟตอนเพิ่มและลดไม่ทับกัน ซึ่งเป็นผลจากการลดลงของความหนืดของหมึกพิมพ์

สกรีนตามเวลา ลักษณะความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนแบบนี้แสดงถึงการไหลแบบทิกโซโทรปี (Thixotropy) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการไหลของหมึกพิมพ์สกรีนตามทฤษฎี [3, 31] โดยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมและหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีลักษณะการไหลแบบเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนดังภาพที่ 44 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มอัตราเฉือนจะทำให้ความหนืดของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าลดลง และเมื่ออัตราเฉือนลดลง ความหนืดของหมึกพิมพ์ทั้งสองจะกลับคืนดังเดิม โดยมีลักษณะการคืนตัวของความหนืดแตกต่างจากตอนที่ความหนืดลดลง และเส้นกราฟของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้อยู่ใต้เส้นกราฟของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า แสดงว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมมีความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

เนื่องจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีมีความหนืดสูง ไม่เหมาะสำหรับการวัดแรงตึงผิว จึงทำการหาค่าพลังงานผิวของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์เพื่อทดแทนค่าแรงตึงผิว โดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำและไดโอะโดมิเทนบนผิวชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 มุมสัมผัสของน้ำและไดโอะโดมิเทนบนพื้นผิวชั้นฟิล์มของหมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกทางการค้า

หมึกพิมพ์	ของเหลว	มุมสัมผัสบนแผ่นอะคริลิก (องศา)						เฉลี่ย
		ซ้าย (ครั้งที่)			ขวา (ครั้งที่)			
		1	2	3	1	2	3	
หมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้	น้ำ	80.5	81.5	80.5	76.0	74.0	75.5	78.0
	ไดโอะโดมิเทน	34.0	29.5	34.5	28.0	26.5	28.0	30.1
หมึกสกรีนยูวีทางการค้า	น้ำ	74.0	76.5	77.0	76.0	75.0	77.5	76.0
	ไดโอะโดมิเทน	46.5	45.0	44.0	37.0	38.5	37.5	41.4

จากผลการคำนวณค่าพลังงานผิวของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าพบว่า ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีค่าพลังงานผิว 44.1 dyne/cm และชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ทางการค้ามีค่าพลังงานผิว 39.5 dyne/cm ซึ่งพลังงานผิวของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทั้งสองชนิดมีค่าน้อยกว่าพลังงานผิวของแผ่นอะคริลิกคือ 55.8 Dyne/cm อย่างไรก็ตาม หลังการฉายรังสียูวีองค์ประกอบภายในหมึกพิมพ์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันซึ่งทำให้พลังงานผิวของชั้นฟิล์มที่แห้งแล้วต่างจากแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ ดังนั้นค่าพลังงานผิวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่คำนวณจึงเป็นเพียงค่าที่ใช้ดูแนวโน้มของการเปียกผิวบนแผ่นอะคริลิกเท่านั้น จาก

ค่าพลังงานผิวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่คำนวณได้พบว่า หมึกพิมพ์ทั้งสองสามารถเปียกผิวแผ่นอะคริลิกได้ และพลังงานผิวของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีค่าน้อยกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้ แสดงว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าสามารถเปียกผิวและมีแนวโน้มของการยึดติดบนผิวของแผ่นอะคริลิกได้ดีกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ได้แก่ พลังงานรังสียูวีที่ใช้ในแห้งของชั้นฟิล์ม ความมันวาว ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์ม เปรียบเทียบกับหมึกสกรีนยูวีทางการค้าและเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากโปรแกรมมินิแทบแสดงดังตารางที่ 23 และผลของพลังงานรังสียูวีที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกและความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจาก โปรแกรมมินิแทบ แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 23 สมบัติของชั้นฟิล์มของสูตรหมึกที่เหมาะสมจาก โปรแกรมมินิแทบและหมึกสกรีนยูวีทางการค้า

สมบัติของชั้นฟิล์ม	หมึกพิมพ์	
	หมึกสกรีนยูวีจากโปรแกรมมินิแทบ	หมึกสกรีนยูวีทางการค้า
พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มแห้ง (mJ/cm^2)	596	298
ความมันวาวที่ 20 องศา (%)	47.96 ± 6.43	40.70 ± 8.73
ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์ม (Kg)	$>20.33 \pm 1.86$	$>18.81 \pm 1.14$
ระดับการยึดติด (Tape Test)	2B	4B
ความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์ม (g)	400 ± 152	350 ± 104
ความแข็งแรงของชั้นฟิล์ม (Pencil Test)		
Gouge Hardness	2H	H
Scratch Hardness	B	F

จากตารางที่ 23 พบว่าสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมินิแทบมีความไวแสงต่ำกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า 2 เท่า โดยต้องใช้พลังงานรังสียูวี $596 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ เพื่อให้หมึกพิมพ์แห้ง อย่างไรก็ตาม ค่าพลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับช่วงที่ใช้งานได้ ไม่ต่ำจนเกินไปที่จะใช้ในการปฏิบัติงานจริง และจากการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งพบว่าชั้นฟิล์มที่ได้จากหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมีการยึดติดที่ติดบนผิวของแผ่นอะคริลิก กล่าวคือสามารถ

ต้านทานแรงดึงสูงสุดที่สามารถวัดได้คือ 20.33 กิโลกรัมสำหรับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้และ 18.81 กิโลกรัมสำหรับหมึกพิมพ์ทางการค้า แต่จากการทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มด้วยวิธี Tape Test แสดงให้เห็นว่าชั้นฟิล์มที่ได้จากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบมีความแข็งแรงในการยึดติดน้อยกว่าชั้นฟิล์มที่ได้จากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงของชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มากกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า โดยผลการทดสอบความทนต่อการขีดข่วนด้วยวิธี Scratch Test และ Pencil Test โดยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบมีความทนทานต่อแรงกดมากกว่า โดยมีค่าประมาณ 400 กรัม ในการทำให้ชั้นฟิล์มเกิดรอยขีดจากการทดสอบด้วยวิธี Scratch Test ในขณะที่ชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีความทนทานต่อแรงกดประมาณ 350 กรัม เท่านั้น และจากการทดสอบด้วย Pencil Test เบอร์ดินสอดที่ให้ผล Gouge Hardness ของชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ คือ 2H ในขณะที่ชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าใช้ดินสอดเบอร์ H และเบอร์ดินสอดที่ให้ผลของ Scratch Hardness ของชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ คือ B ในขณะที่ชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าใช้ดินสอดเบอร์ F ซึ่งหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ต้องใช้ดินสอดที่แข็งกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า นอกจากนี้ ชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้ยังมีค่าความมันวาวมากกว่าชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ทางการค้าเล็กน้อย

ตารางที่ 24 พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่ทำนายจากโปรแกรมมินิแทบ

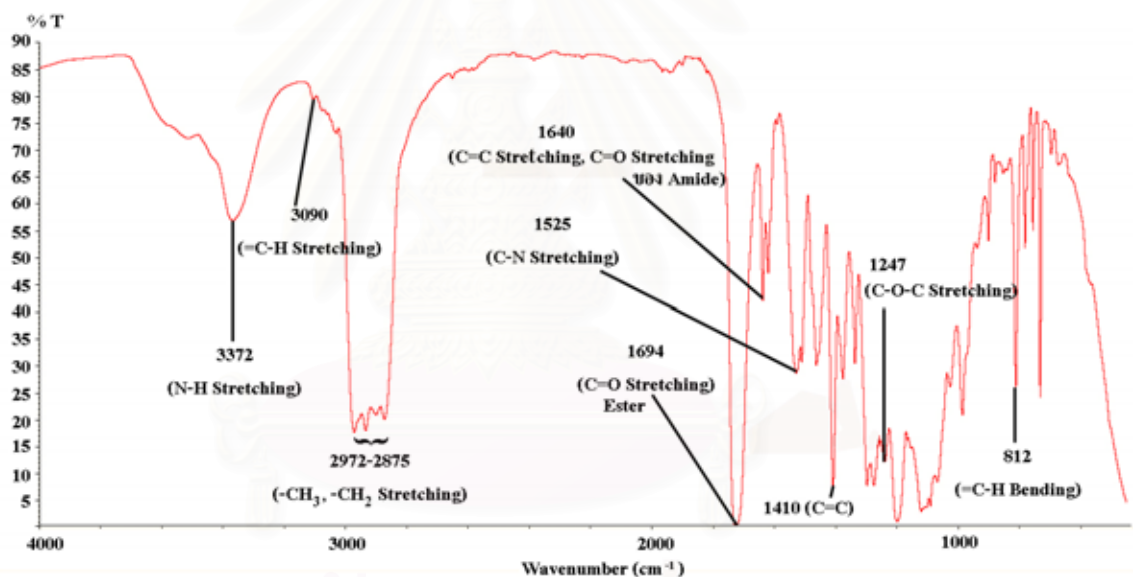
	พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง (mJ/cm ²)	ความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ (g)
ค่าที่ได้จากการทดสอบจริง	596	400
ค่าที่ได้จากการทำนาย	586	560

จากตารางที่ 24 พบว่าค่าพลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งและความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มจากการทดสอบด้วย Scratch Test ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรมมินิแทบและค่าที่ได้จากการทดสอบจริงมีค่าใกล้เคียงกัน คือพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มจากการทำนายคือ 586 mJ/cm² และพลังงานที่ใช้ในการแห้งของชั้นฟิล์มจากการทดลองจริงคือ 596 mJ/cm² ส่วนความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มจากการทดสอบจริงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย โดยมีค่า 400 กรัม และ 560 กรัม ตามลำดับ ซึ่งนับว่าไม่แตกต่างกันมาก

เนื่องจากสูตรหมึกทั้ง 10 สูตรจากการออกแบบของผสมที่ใช้ Irgacure 2100 เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงมีค่าความทนต่อการขีดข่วนของแต่ละสูตรแตกต่างกันอย่างน้อย 100 กรัม

4.7 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการฉายรังสียูวี

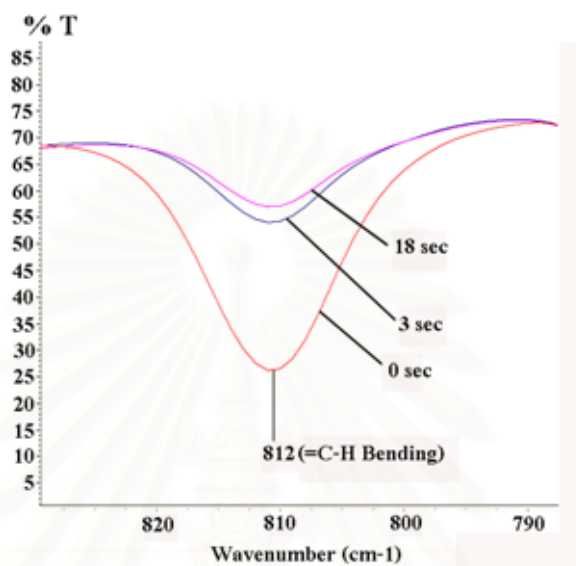
หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีองค์ประกอบหลักคือ Ebecryl 145 และ Ebecryl 284 ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่มีหมู่อะคริเลตสองหมู่ในโมเลกุลและเป็นโพลิโกเมอร์ประเภทยูรีเทนอะคริเลตตามลำดับ จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบพิคของพันธะคู่ของหมู่อะคริเลตที่เลขคลื่น 3090, 1640, 1410 [14, 54, 55] และ 812 cm^{-1} [17, 47] พิคของหมู่เอมีดที่เลขคลื่น 3372 [54], 1640 [56], 1525 [48, 56] และ 1350 cm^{-1} และ 1694 cm^{-1} ของหมู่เอสเตอร์ของอะคริเลต ดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45 พันธะภายในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

หลังการฉายรังสียูวี องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ภายในชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระจากการแตกตัวของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง (Irgacure 2100) ด้วยการฉายรังสียูวีและทำให้ Ebecryl 284 ซึ่งเป็นโพลิโกเมอร์ที่มีหมู่อะคริเลตเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ โดยเกิดการเติมอนุมูลอิสระเข้าที่พันธะคู่ของหมู่อะคริเลตในโพลิโกเมอร์ทำให้พันธะคู่เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยวและเกิดโพลิโกเมอร์ที่มีอิเล็กตรอนอิสระสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโพลิโกเมอร์โมเลกุลอื่นๆ หรือในมอนอเมอร์ที่มีหมู่อะคริเลต (Ebecryl 145) ต่อไปจนเกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงข่าย 3 มิติทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้ง ดังนั้นการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

ของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้จึงใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโกปี (FT-IR Spectroscopy) เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพันธะคู่ของหมู่อะคริเลตก่อนและหลังการฉายรังสียูวี ซึ่งตรวจสอบที่เลขคลื่น 812 cm^{-1} [17, 47] ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 46



ภาพที่ 46 อินฟราเรดสเปกตรัมของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีก่อนและหลังฉายรังสียูวี

จากภาพที่ 46 พบว่าพีคที่เลขคลื่น 812 cm^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงหลังการฉายรังสียูวี โดยความเข้มพีคลดลง และลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อฉายรังสียูวีนานขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของพันธะคู่ของหมู่อะคริเลตภายในองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ดังตารางที่ 25 โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะคริเลตได้จากการคำนวณดังสมการที่ 19

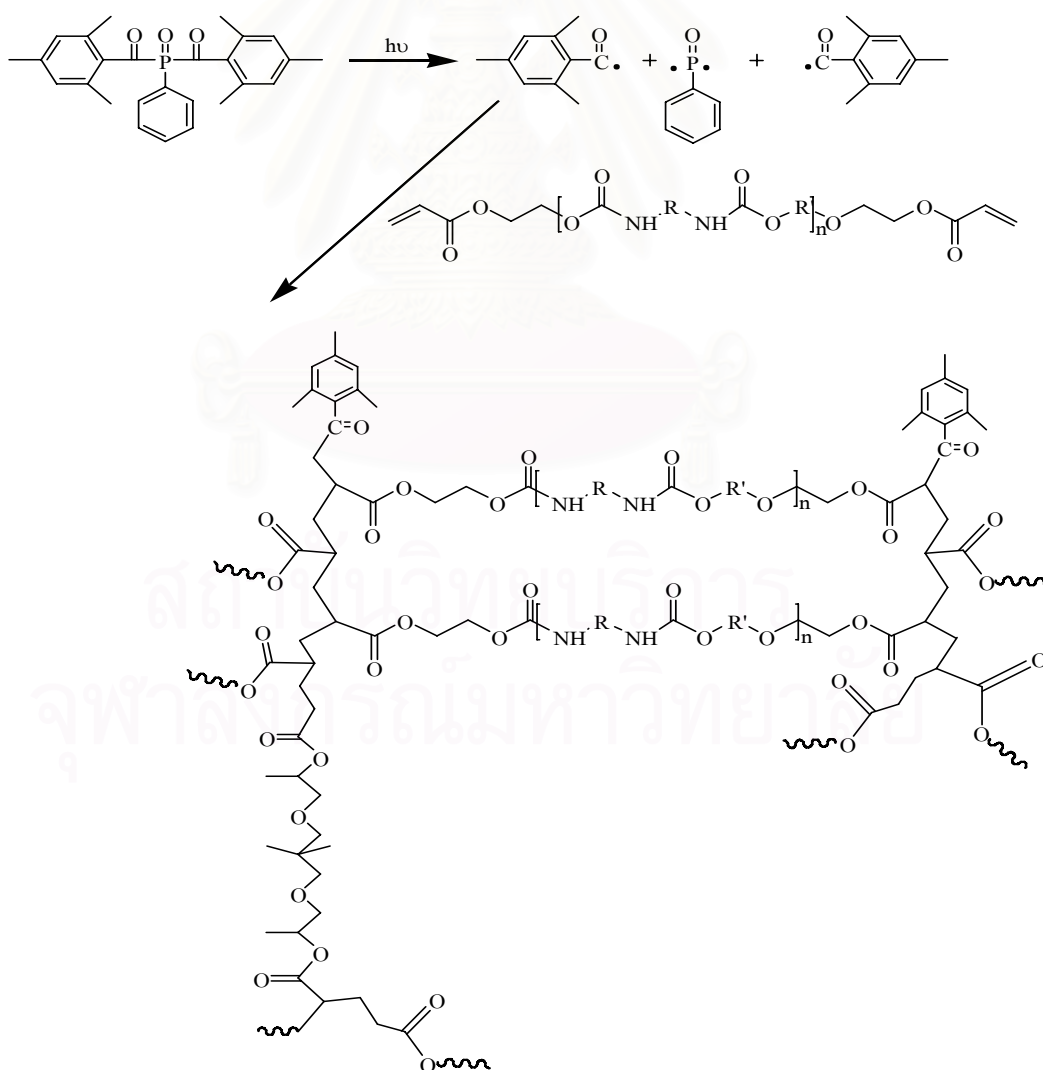
$$\% \text{ Conversion} = (A_0 - A_t)/A_0 \times 100 \quad (19)$$

ตารางที่ 25 พื้นที่ใต้พีคก่อนและหลังฉายรังสียูวี และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะคริเลต

เลขคลื่น (cm^{-1})	พื้นที่ใต้พีคก่อน ฉายรังสียูวี	พื้นที่ใต้พีคหลังฉายรังสียูวี		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)	
		3 วินาที	18 วินาที	3 วินาที	18 วินาที
812	606.41	206.43	168.54	65.96	72.21

จากตารางที่ 25 เมื่อฉายรังสียูวี 3 วินาที พลังงานประมาณ 76.5 mJ/cm^2 พบว่าหมู่อะคริเลตมีการเปลี่ยนแปลงโดยการเกิดปฏิกิริยาไปถึงร้อยละ 65.96 และเมื่อใช้เวลานานขึ้นเป็น 18 วินาที พลังงานประมาณ 459 mJ/cm^2 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะคริเลตจากปฏิกิริยาการเชื่อมขวางเกิดเพิ่มขึ้น พื้นที่ใต้พีคของกราฟมีระดับการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการฉาย

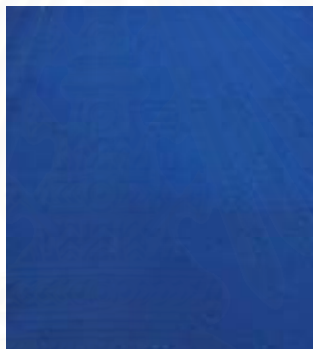
รังสียูวีในครั้งแรก โดยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะคริเลตเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 6.25 ซึ่งแสดงว่าพันธะคู่ส่วนใหญ่ได้เกิดปฏิกิริยาไปแล้วจากการฉายรังสียูวีในครั้งแรก นอกจากนี้จากการคำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะคริเลตพบว่า หมู่อะคริเลตมีการเปลี่ยนแปลงโดยการเกิดปฏิกิริยาไปถึงร้อยละ 72.21 ซึ่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันภายในชั้นฟิล์มยังเกิดไม่สมบูรณ์ โดยพลังงานที่ใช้ทำให้หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้นี้แห้งและเกิดแผ่นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่มีการยึดติดที่ดี และมีสมบัติต่างๆ ที่ต้องการคือ 596 mJ/cm^2 จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในการฉายรังสียูวีหมึกพิมพ์สูตรนี้ ถ้าใช้พลังงานประมาณ 459 mJ/cm^2 จะมีหมู่อะคริเลตเหลือจากการเกิดปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 27.79 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพันธะคู่อย่างรวดเร็วเป็นผลจากสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงที่ใช้คือ Irgacure 2100 สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ 2 ตำแหน่ง กลไกการแตกตัวให้อนุมูลอิสระของ Irgacure 2100 และการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ Ebecryl 284 แสดงในภาพที่ 47



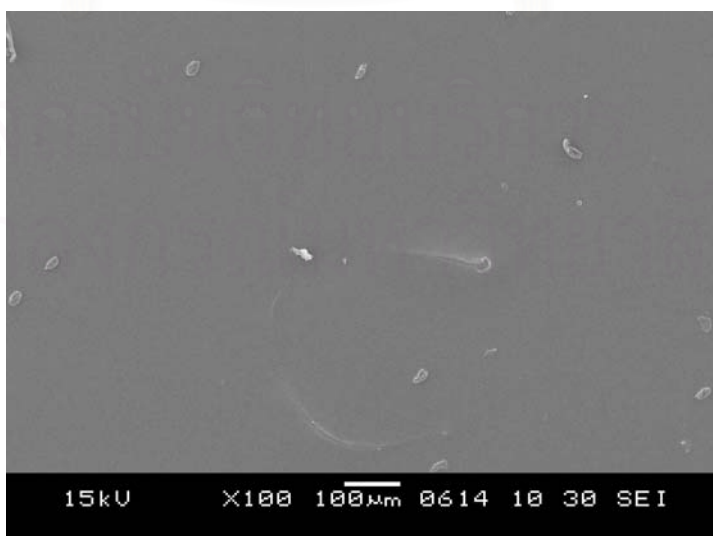
ภาพที่ 47 กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ Irgacure 2100 และ Ebecryl 284

4.8 วิเคราะห์คุณภาพสิ่งพิมพ์

หลังการพิมพ์บนแผ่นพลาสติกอะคริลิกด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบและฉายรังสียูวีเพื่อให้ชั้นฟิล์มแห้งแล้ว พบว่าพื้นผิวของชั้นฟิล์มมีลักษณะเรียบ มีการแห้งของชั้นฟิล์มอย่างสมบูรณ์คล้ายพื้นผิวที่ได้จากชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง Irgacure 2100 เนื่องจากเป็นหมึกพิมพ์ที่มีองค์ประกอบเหมือนกัน แตกต่างกันเพียงสัดส่วนของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 เท่านั้น ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบที่ให้สมบัติของชั้นฟิล์มที่ต้องการ ลักษณะพื้นผิวชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบแสดงในภาพที่ 48 และ 49



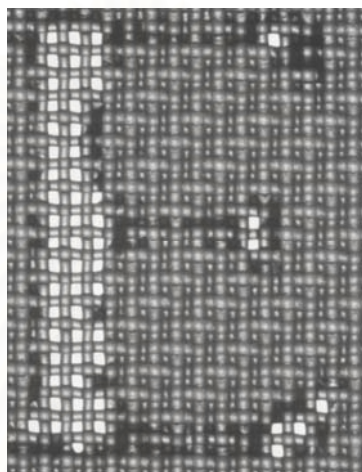
ภาพที่ 48 ภาพถ่ายปกติของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ



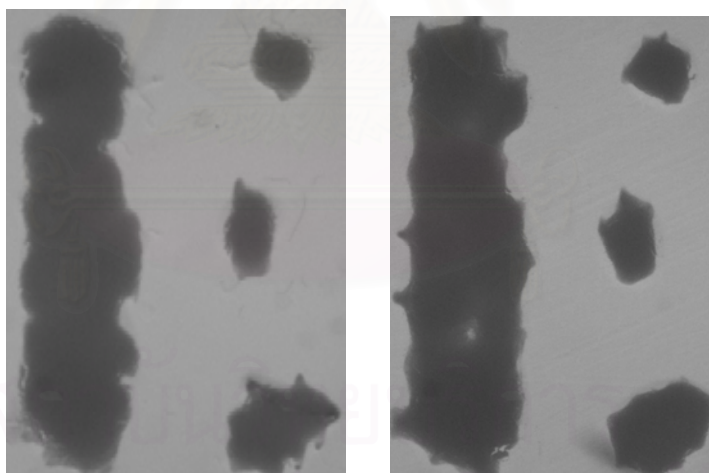
ภาพที่ 49 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 100 เท่าของพื้นผิวชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ

4.8.1 การคำนวณร้อยละการแผ่ของหมึก

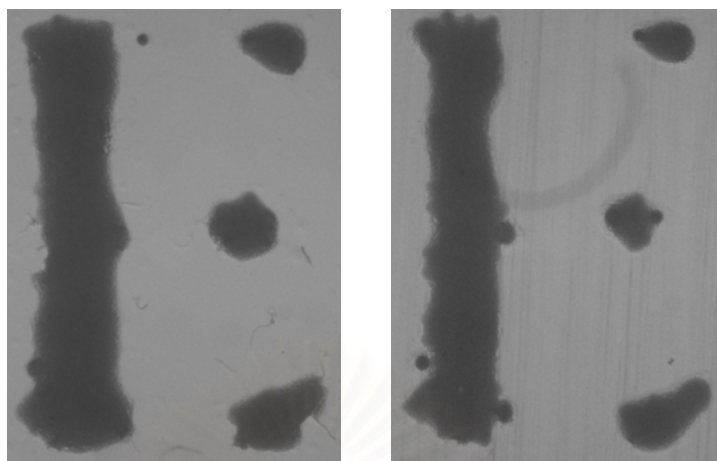
ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวี สูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบกับหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า ภาพลักษณะของตัวอักษรภาษาอังกฤษและภาษาไทย เส้นแนวนอนและแนวตั้ง ทั้งแบบพอลิทีฟและเนกาทีฟแสดงในภาพที่ 50-61



(ก)



(ข)



(ก)

ภาพที่ 50 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 6 พอยต์

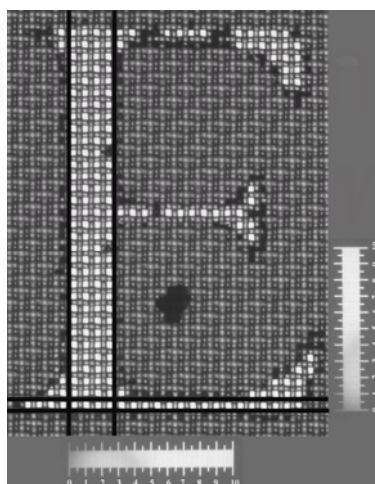
แบบพอลิทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

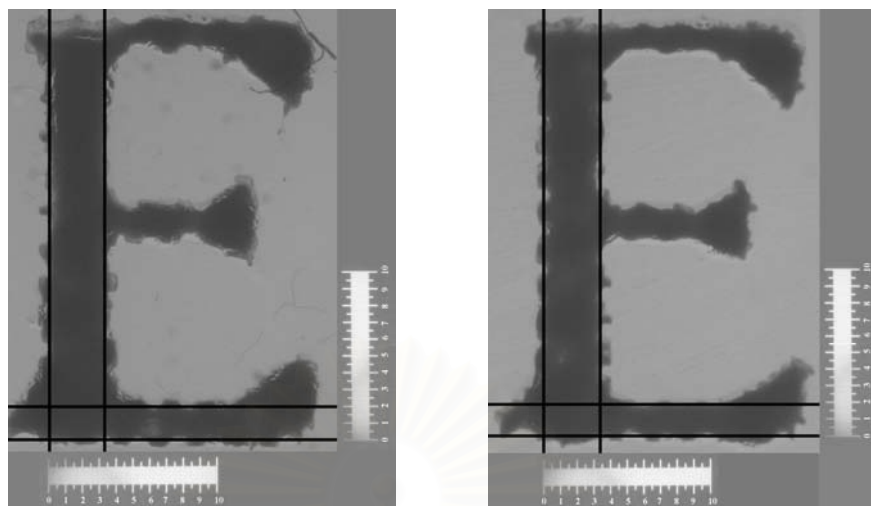
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

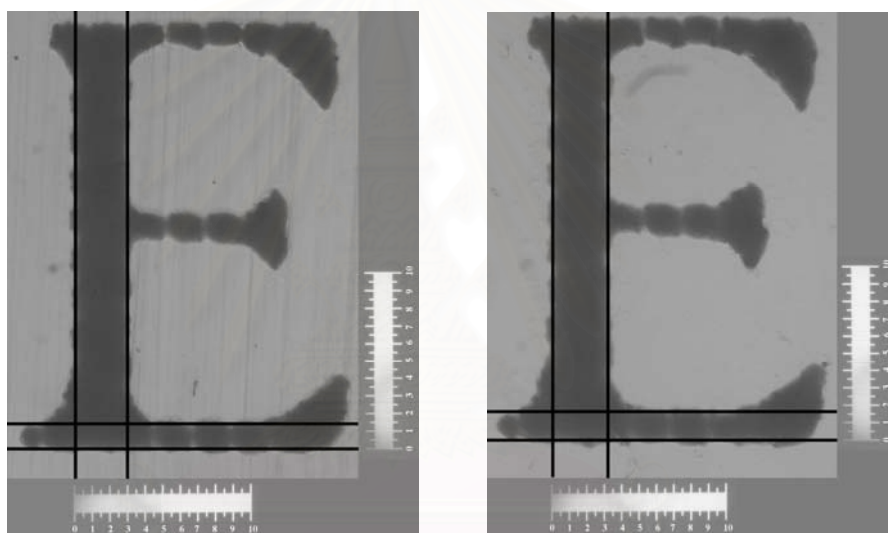
จากภาพที่ 50 ตัวอักษร 'E' พอลิทีฟขนาด 6 พอยต์บนผ้าสกรีนที่เป็นแม่พิมพ์มีช่องเปิดตามแนวเส้นไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ตัวอักษรที่พิมพ์ได้ไม่ครบถ้วน มีการขาดของเส้นอย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ได้จากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมและหมึกพิมพ์ทางการค้าจะพบว่า ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ออกของหมึกมากกว่า เนื่องจากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความหนืดต่ำกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้า



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 51 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 10 พอยต์

แบบพอลิทีฟ

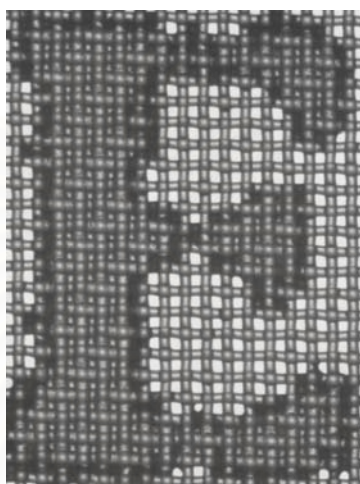
(ก) แม่พิมพ์

(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

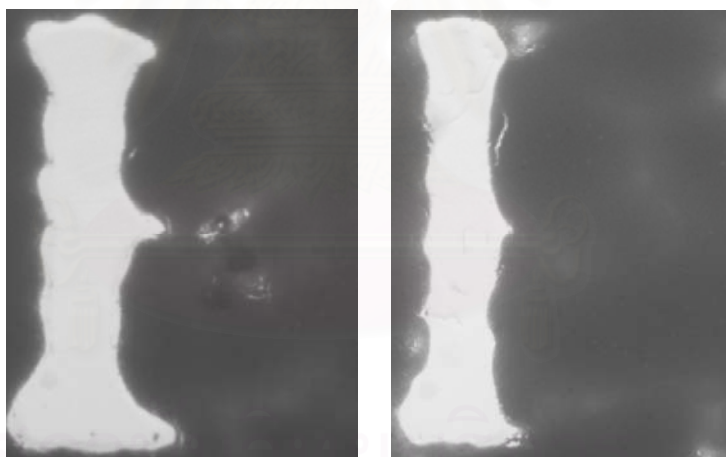
(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 51 ตัวอักษร 'E' พอลิทีฟขนาด 10 พอยต์บนผ้าสกรีนที่เป็นแม่พิมพ์มีขนาดช่องเปิดของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.28 มิลลิเมตร และเส้นแนวนอนมีช่องเปิดขนาด 0.09 มิลลิเมตร ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความกว้างของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.32 และ 0.34 มิลลิเมตร และขนาดเส้นแนวนอนประมาณ 0.20 และ 0.19 มิลลิเมตร ขณะที่ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้ามีความกว้างของเส้นแนวตั้ง 0.30 และ 0.31 มิลลิเมตร

และขนาดเส้นแวนอนประมาณ 0.14 และ 0.16 มิลลิเมตร แสดงว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้ มีการแผ่ของหมึกมากกว่า นอกจากนี้เมื่อสังเกตภาพตัวอักษรบนผ้าสกรีนจะพบว่า เส้นแวนอนด้านบนสุดของตัวอักษร 'E' มีการปิดของช่องเปิดบางส่วน ดังนั้น การที่หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้ให้ภาพพิมพ์ที่ดูสมบูรณ์ครบถ้วนมากกว่าเนื่องจากการแผ่ของหมึกนั่นเอง

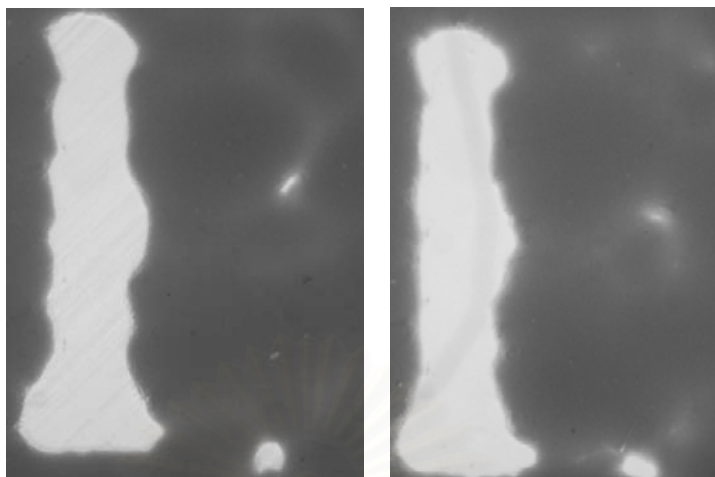


(ก)



(ข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

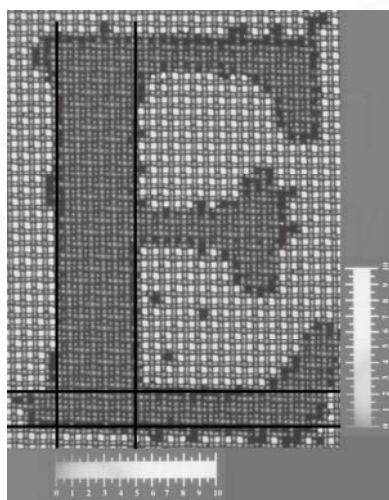
ภาพที่ 52 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 6 พอยต์แบบเนกาทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

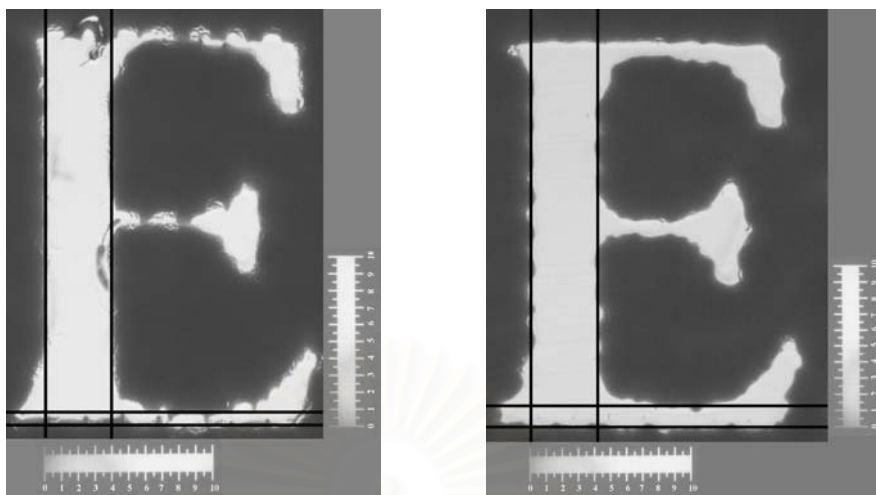
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

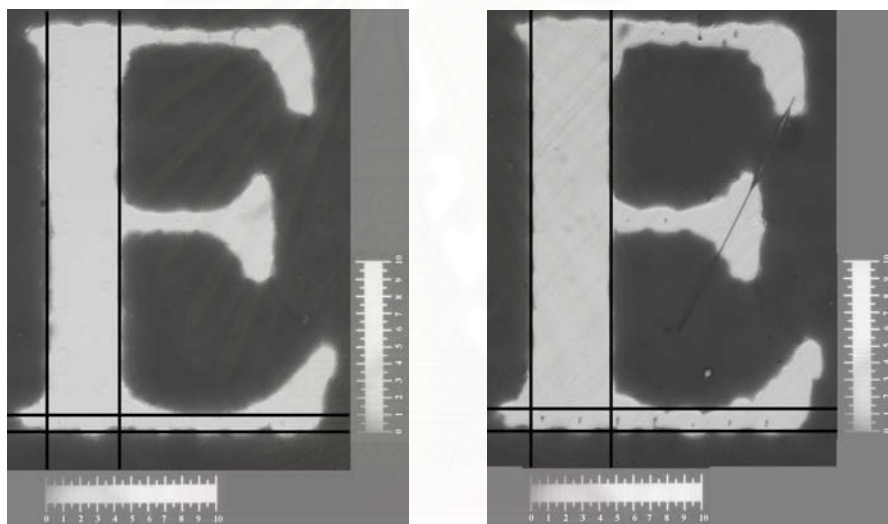
จากภาพที่ 52 ตัวอักษร 'E' เนกาทีฟขนาด 6 พอยต์บนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีช่องเปิดตามแนวเส้นครบถ้วน แต่เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมและหมึกพิมพ์ทางการค้าพบว่า เส้นแนวนอนทั้งสามเส้นของตัวอักษร 'E' ขาดหายไปเนื่องจากการแผ่ของหมึกพิมพ์ ซึ่งปรากฏลักษณะเดียวกันในหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 53 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาอังกฤษขนาด 10 พอยต์

แบบเนกาทีฟ

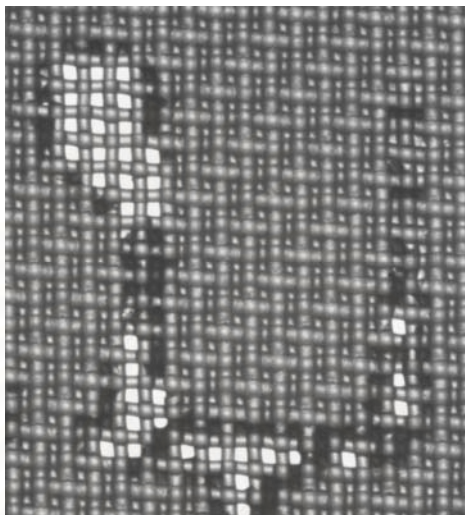
(ก) แม่พิมพ์

(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

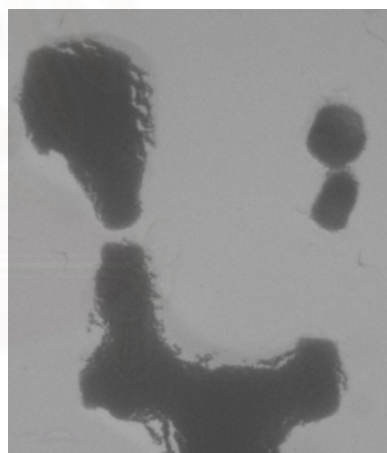
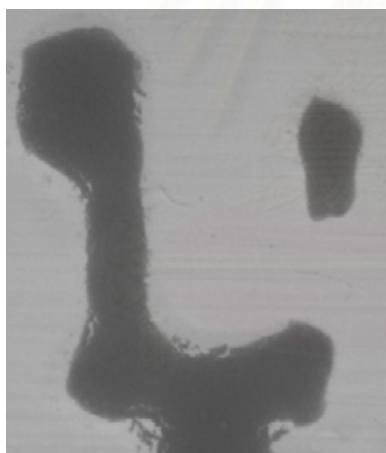
(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 53 ตัวอักษร 'E' เนกาทีฟขนาด 10 พอยต์บนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องปิดของเส้นแนวตั้ง 0.50 มิลลิเมตร และเส้นแนวนอนมีช่องปิดขนาด 0.20 มิลลิเมตร ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความกว้างของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.39 และ 0.41 มิลลิเมตร และขนาดเส้นแนวนอนประมาณ 0.09 และ 0.12 มิลลิเมตร ขณะที่ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้ามีความกว้างของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.42 และ 0.47 มิลลิเมตร และขนาด

เส้นแวนอนประมาณ 0.10 และ 0.13 มิลลิเมตร แสดงว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่า นอกจากนี้เมื่อสังเกตลักษณะขอบของภาพตัวอักษรที่พิมพ์ได้พบว่า ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนทางการค้ามีขอบที่เรียบกว่า เนื่องจากมีการแผ่ออกของหมึกมากกว่า

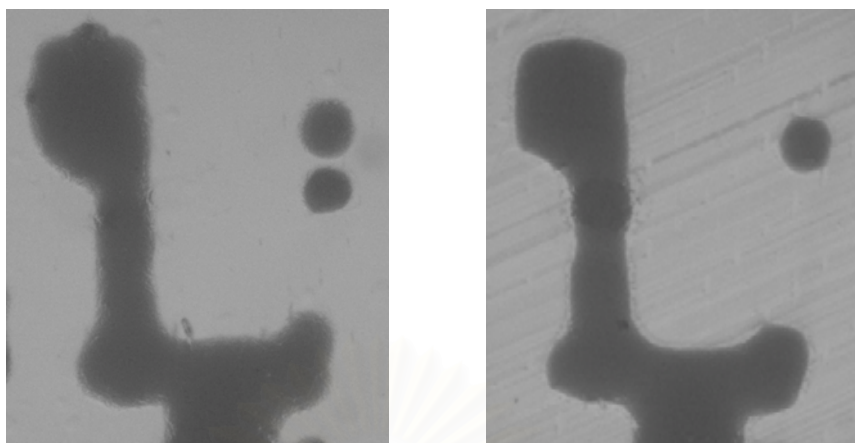


(ก)



(ข)

สถาบันวิจัยบรกา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

ภาพที่ 54 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 6 พอยต์

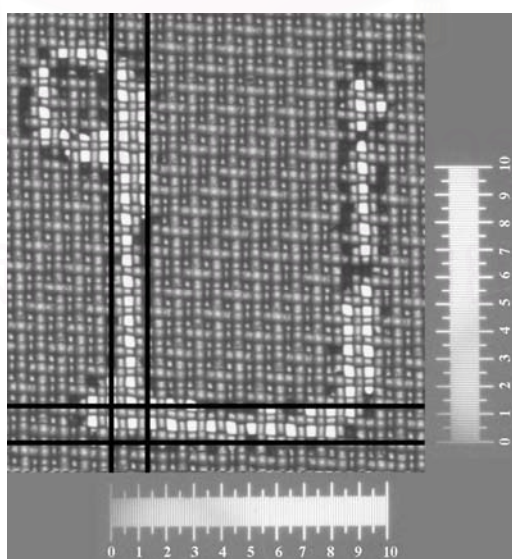
แบบพอลิทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

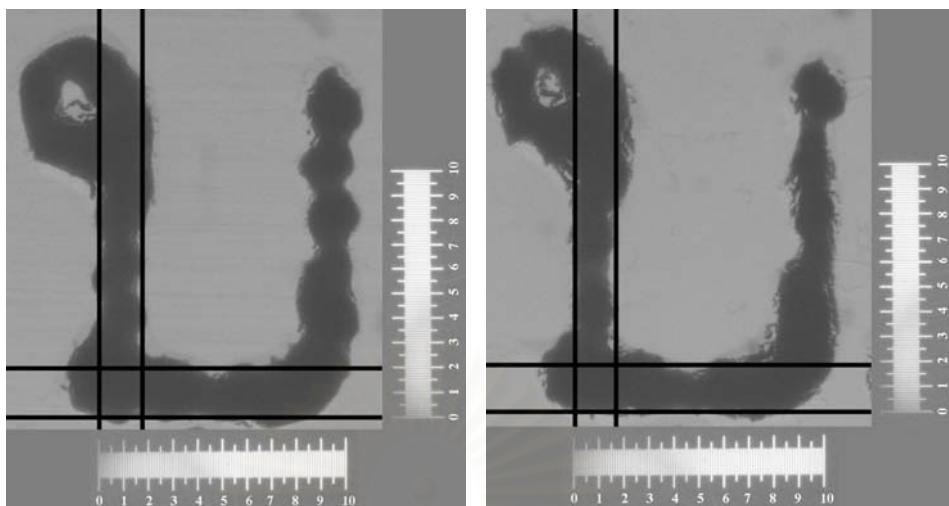
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

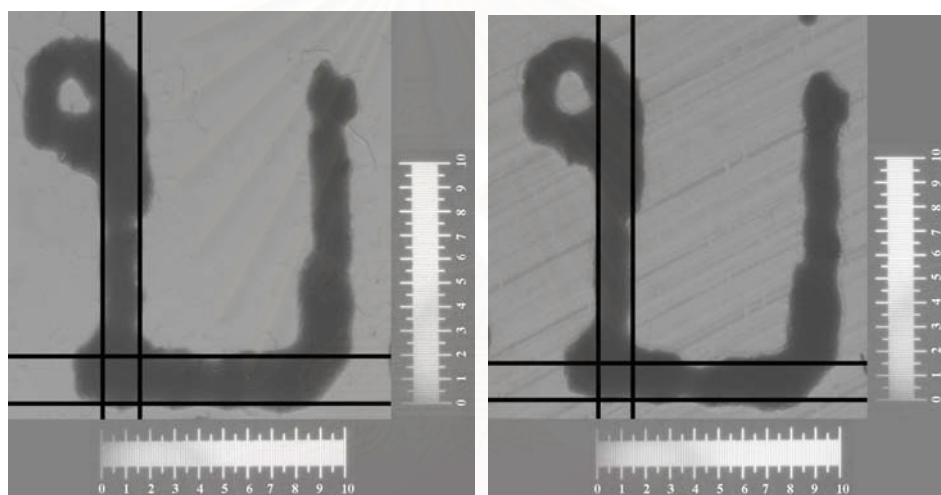
จากภาพที่ 54 ตัวอักษร ‘บ’ พอลิทีฟขนาด 6 พอยต์บนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีช่องเปิดตามแนวเส้นไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ตัวอักษรที่พิมพ์ได้มีการขาดตอนของเส้น ซึ่งลักษณะของตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้ามีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ขอบของตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้ามีลักษณะเรียบกว่าอย่างที่อธิบายไปแล้ว



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 55 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 10 พอยต์

แบบพอสิทีฟ

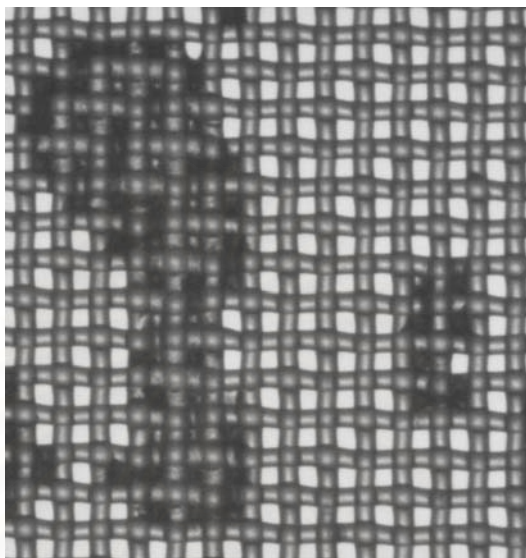
(ก) แม่พิมพ์

(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

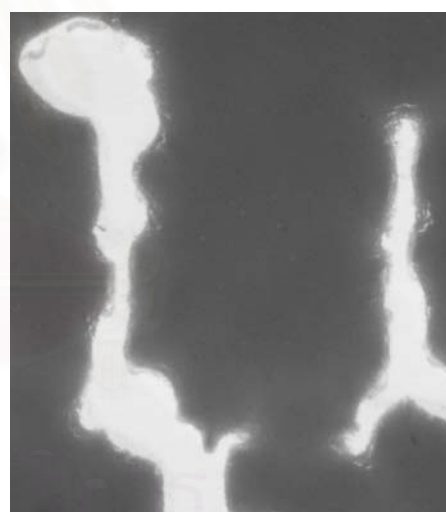
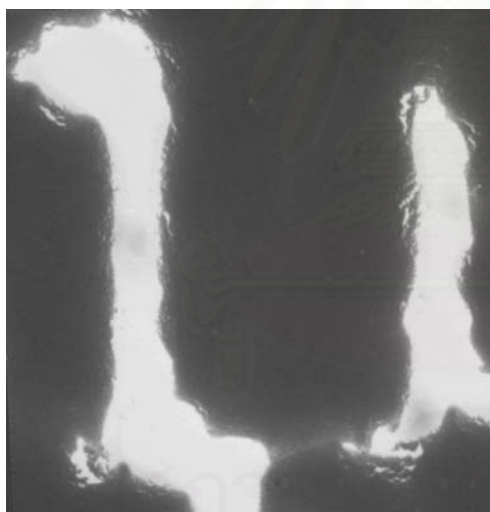
(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 55 ตัวอักษร 'บ' พอสิทีฟขนาด 10 พอยต์บนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องเปิดของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.12 มิลลิเมตร และเส้นแนวนอนมีช่องเปิดประมาณ 0.12 มิลลิเมตร ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความกว้างของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.18 และ 0.17 มิลลิเมตร และขนาดเส้นแนวนอนประมาณ 0.20 และ 0.19 มิลลิเมตร ขณะที่ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้ามีความกว้างของเส้นแนวตั้ง 0.16 และ 0.14 มิลลิเมตร และขนาดเส้นแนวนอนประมาณ 0.20 และ 0.15 มิลลิเมตร แสดงว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

มีการแผ่ของหมึกมากกว่า นอกจากนี้เมื่อสังเกตลักษณะขอบของภาพตัวอักษรที่พิมพ์ได้พบว่า ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนทางการค้ามีขอบเรียบกว่า

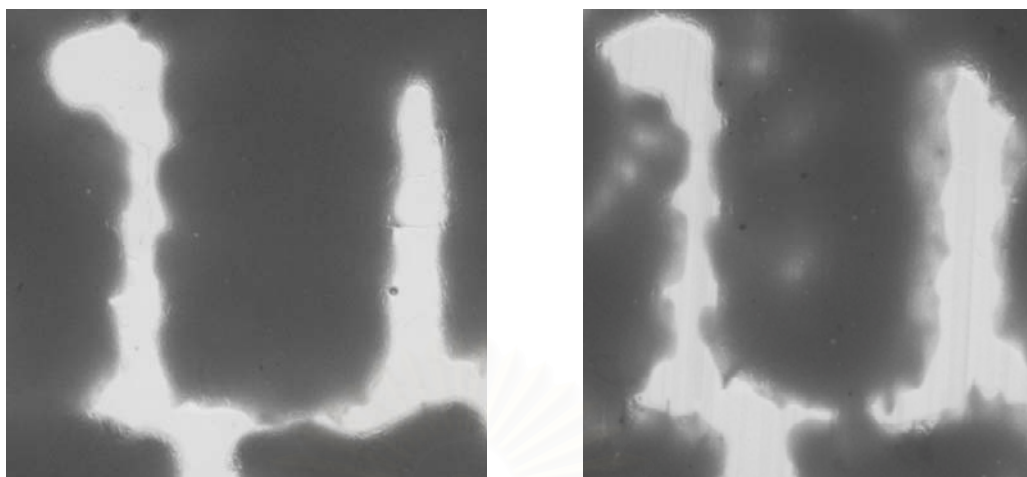


(ก)



(ข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค)

ภาพที่ 56 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 8 พอยต์

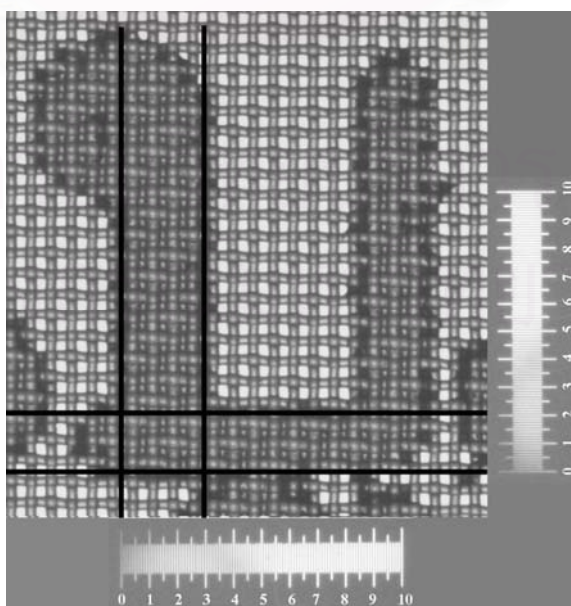
แบบเนกาทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

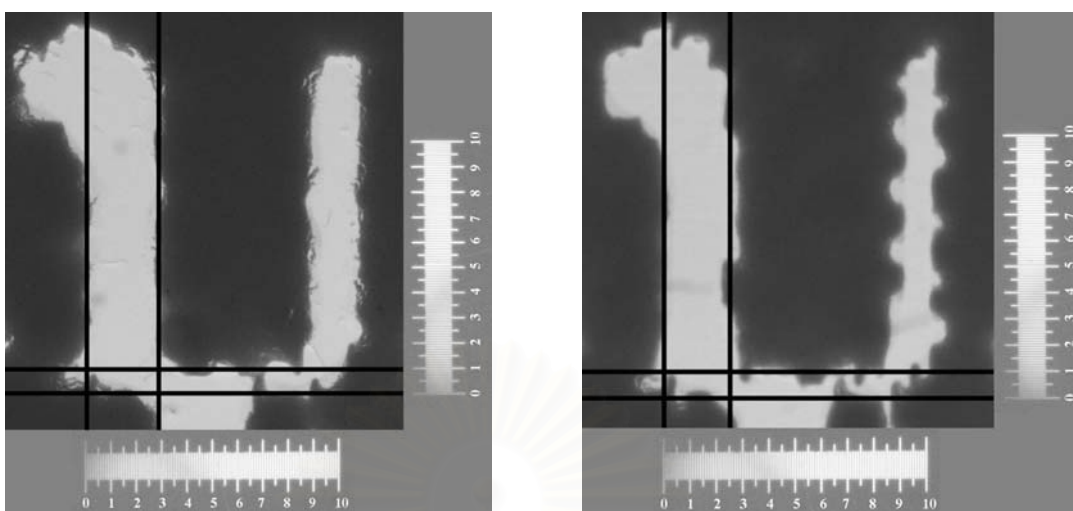
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

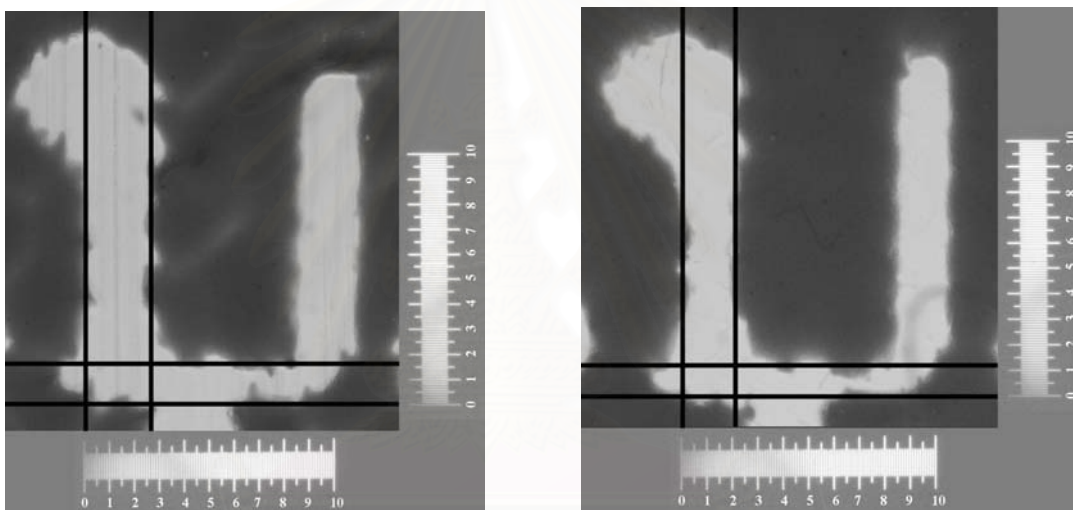
จากภาพที่ 56 ตัวอักษร ‘บ’ เนกาทีฟขนาด 8 พอยต์บนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีช่องเปิดตามแนวเส้นไม่ครบถ้วน จึงทำให้ตัวอักษรที่พิมพ์ได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งภาพพิมพ์ที่ได้ปรากฏลักษณะเดียวกันในหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 57 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4 เท่าของตัวอักษรภาษาไทยขนาด 10 พอยต์

แบบเนกาทีฟ

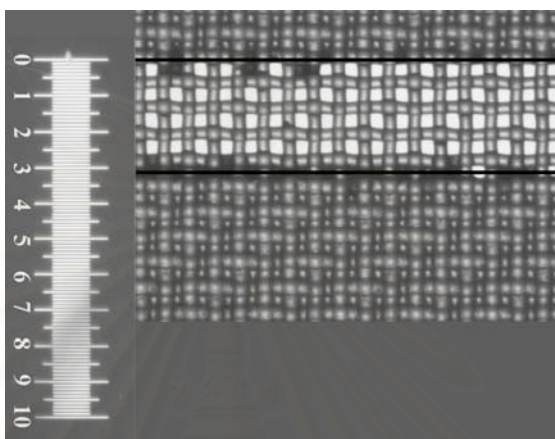
(ก) แม่พิมพ์

(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

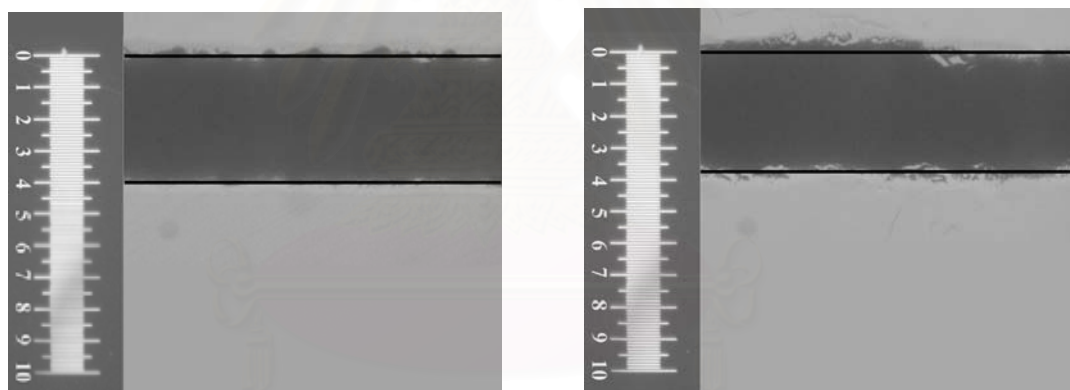
(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 57 ตัวอักษร 'บ' เนกาทีฟขนาด 10 พอยต์บนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องปิดของเส้นแนวตั้ง 0.30 มิลลิเมตร และเส้นแนวนอนมีช่องปิดขนาด 0.20 มิลลิเมตร ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความกว้างของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.29 และ 0.25 มิลลิเมตร และขนาดเส้นแนวนอน 0.10 และ 0.10 มิลลิเมตร ขณะที่ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้ามีความกว้างของเส้นแนวตั้งประมาณ 0.26 และ 0.21 มิลลิเมตร และขนาดเส้นแนว

นอนประมาณ 0.17 และ 0.12 มิลลิเมตร จากภาพพิมพ์ที่ได้พบว่า หมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีการแผ่ของหมึกมากกว่าในแนวตั้ง อย่างไรก็ตาม หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่าในแนวนอน นอกจากนี้เมื่อสังเกตลักษณะขอบของภาพตัวอักษรที่พิมพ์ได้พบว่า ตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนทางการค้ามีขอบเรียบกว่า

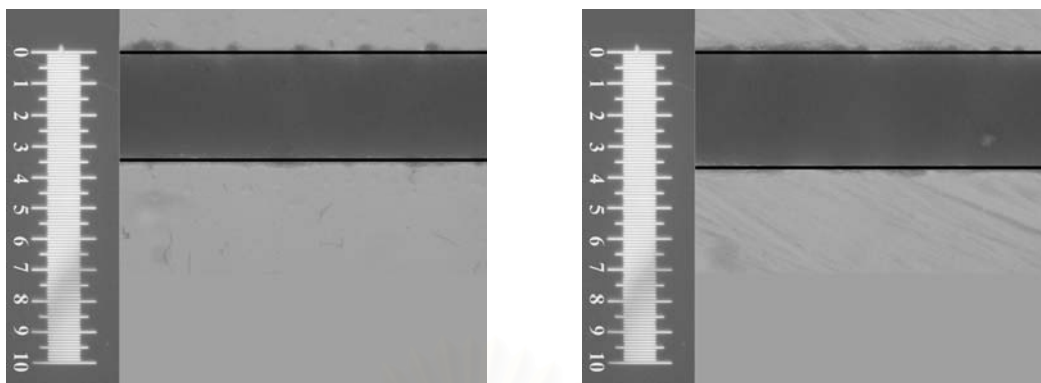


(ก)



(ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค)

ภาพที่ 58 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแวนอนขนาด 1 พอยต์

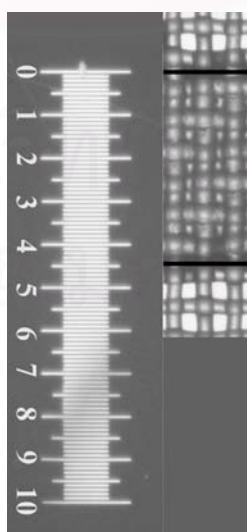
แบบพอสิทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

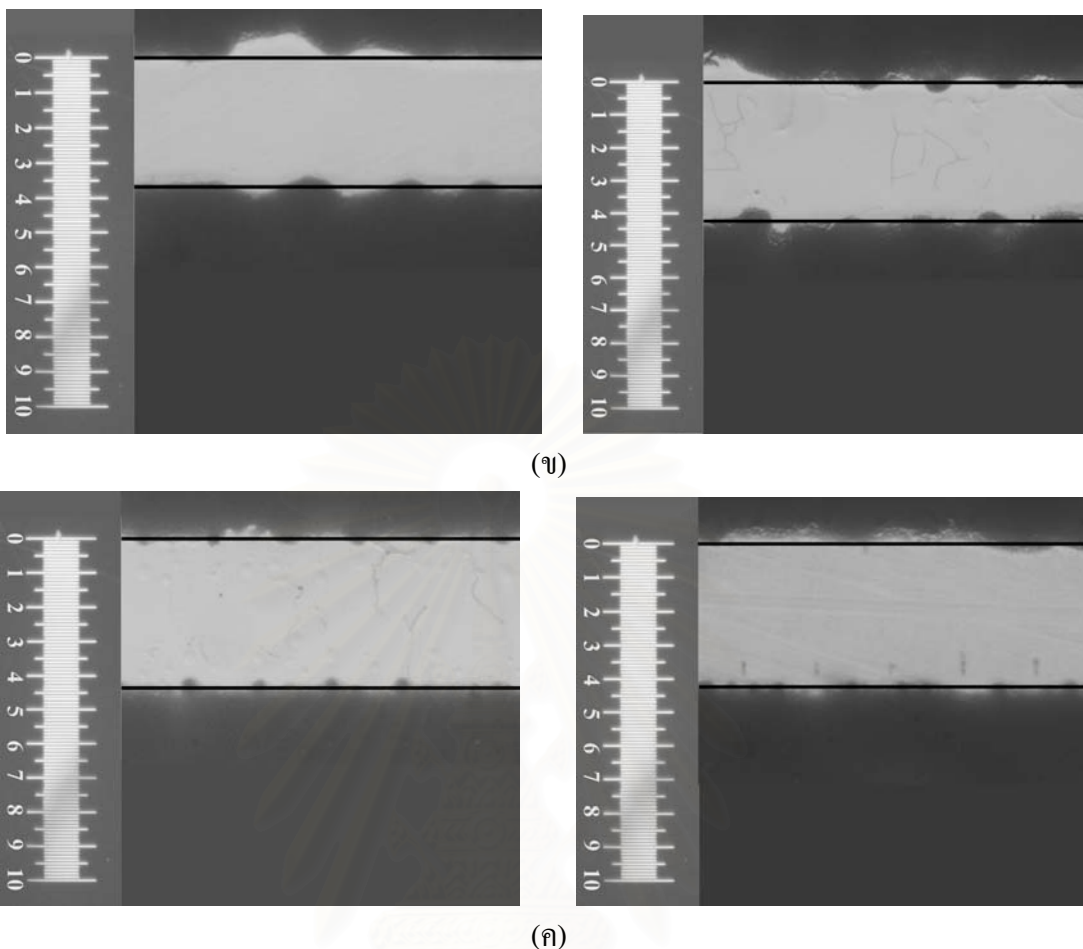
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 58 เส้นแวนอนแบบพอสิทีฟบนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องเปิดประมาณ 0.30 พอยต์ เมื่อพิจารณาจากขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้พบว่า เส้นแวนอนที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้า กล่าวคือเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีขนาดประมาณ 0.40 และ 0.38 มิลลิเมตร ขณะที่ขนาดของเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าประมาณ 0.34 และ 0.37 มิลลิเมตร



(ก)



ภาพที่ 59 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแวนอนขนาด 1 พอยด์

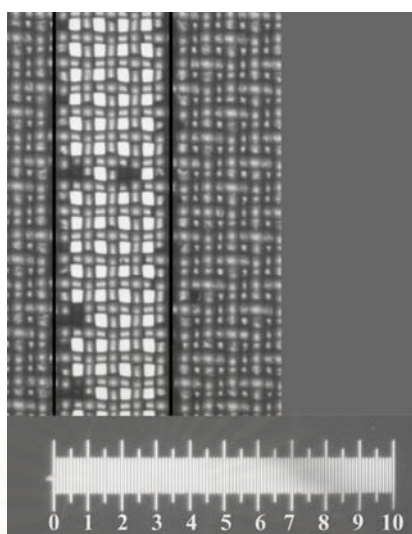
แบบเนกาทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

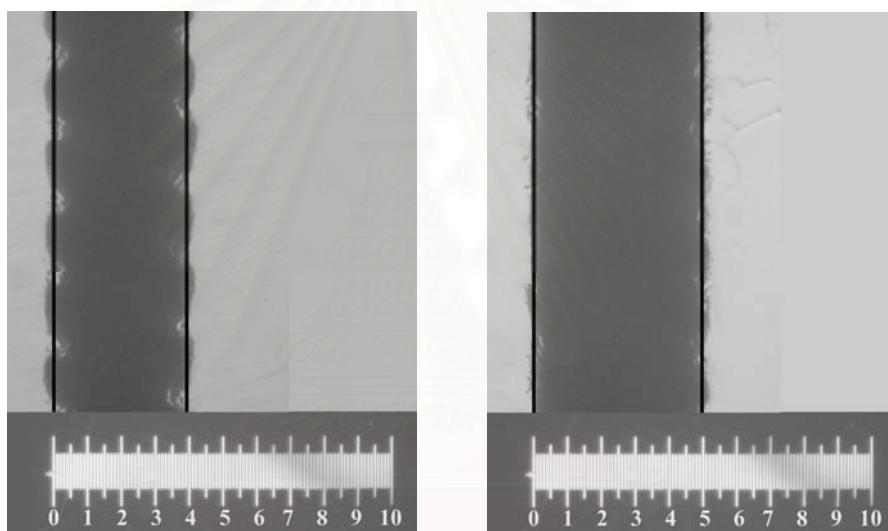
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 59 เส้นแวนอนแบบเนกาทีฟบนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องปิดประมาณ 0.45 พอยด์ เมื่อพิจารณาจากขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้พบว่า เส้นแวนอนที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้า กล่าวคือเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีขนาดประมาณ 0.37 และ 0.42 มิลลิเมตร ขณะที่ขนาดของเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าประมาณ 0.43 และ 0.42 มิลลิเมตร

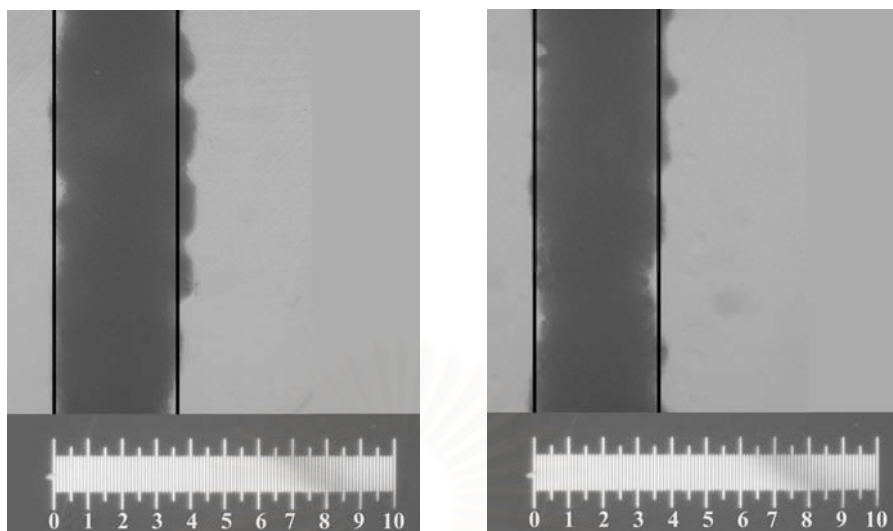


(ก)



(ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

ภาพที่ 60 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแนวตั้งขนาด 1 พอยต์

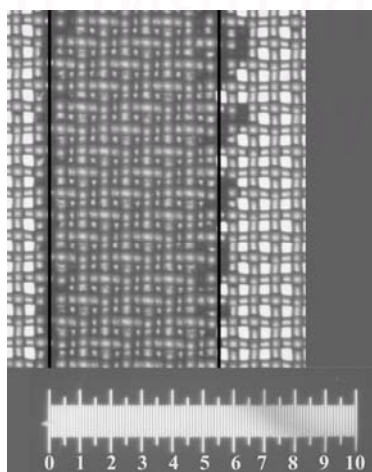
แบบพอลิทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

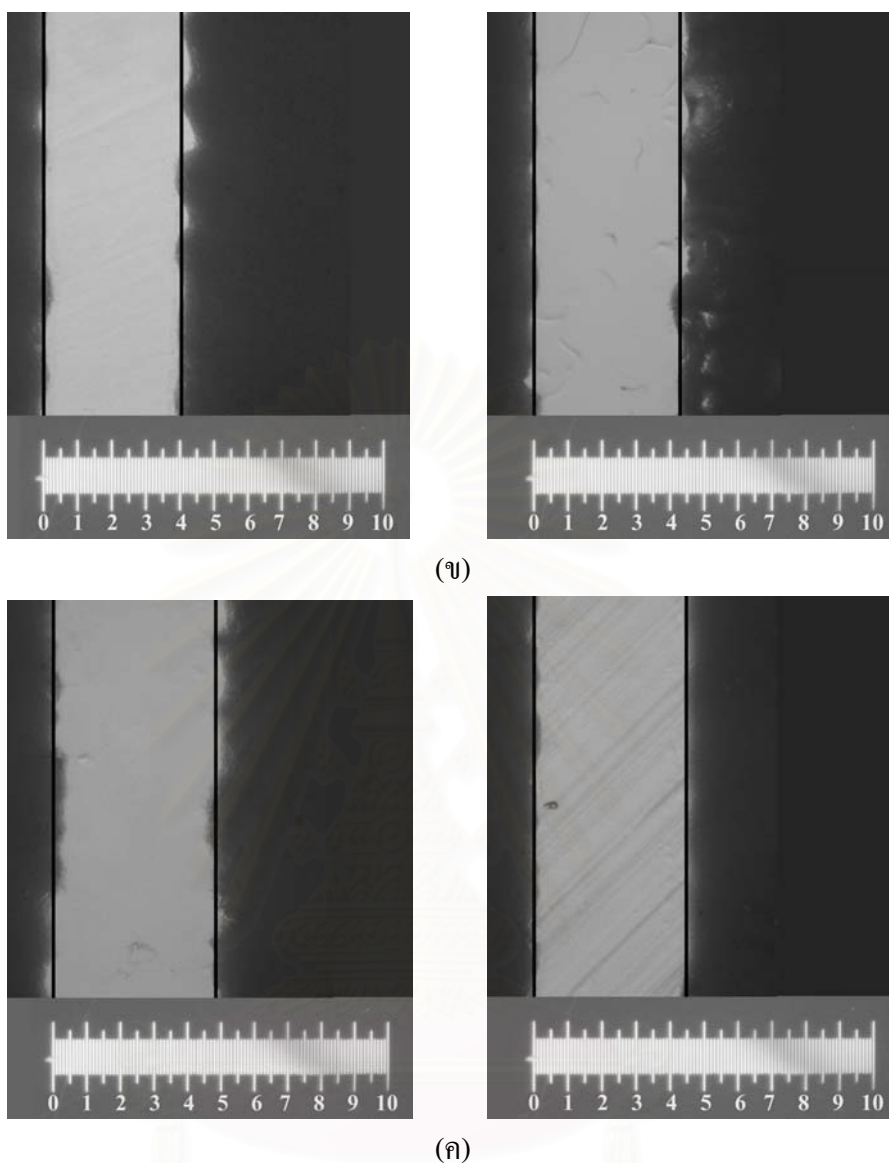
(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 60 เส้นแนวตั้งแบบพอลิทีฟบนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องเปิดประมาณ 0.34 พอยต์ เมื่อพิจารณาจากขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้พบว่า เส้นแนวตั้งที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้า กล่าวคือเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีขนาดประมาณ 0.40 และ 0.50 มิลลิเมตร ขณะที่ขนาดของเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าประมาณ 0.36 และ 0.36 มิลลิเมตร



(ก)



ภาพที่ 61 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 7 เท่าของเส้นแฉงตั้งขนาด 1 พอยด์

แบบเนกาทีฟ

(ก) แม่พิมพ์

(ข) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้

(ค) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

จากภาพที่ 61 เส้นแฉงตั้งแบบเนกาทีฟบนผ้าสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดช่องปิด 0.55 พอยด์ เมื่อพิจารณาจากขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้พบว่า เส้นแฉงตั้งที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้า กล่าวคือเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีขนาดประมาณ 0.40 และ 0.42 มิลลิเมตร ขณะที่ขนาดของเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าประมาณ 0.48 และ 0.45 มิลลิเมตร

จากการนำหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกทางการค้ามาพิมพ์เพื่อทดสอบความละเอียดของตัวอักษรและเส้นที่ได้พบว่า หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการแผ่ของหมึกมากกว่าหมึกทางการค้า ซึ่งเป็นผลจากความหนืดที่น้อยกว่าของหมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้คือ 1.99 Pa s ขณะที่หมึกทางการค้ามีความหนืดเท่ากับ 4.62 Pa s เมื่อนำขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้และขนาดของเส้นต้นฉบับบนแม่พิมพ์สกรีนมาคำนวณร้อยละการแผ่ของหมึกดังสมการที่ 20 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 26

$$\text{ร้อยละการแผ่ของหมึก} = \frac{\text{ขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้} - \text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}}{\text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}} \times 100 \quad (20)$$

ตารางที่ 26 ร้อยละการแผ่ของหมึกจากการพิมพ์บนแผ่นอะคริลิกด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกทางการค้า

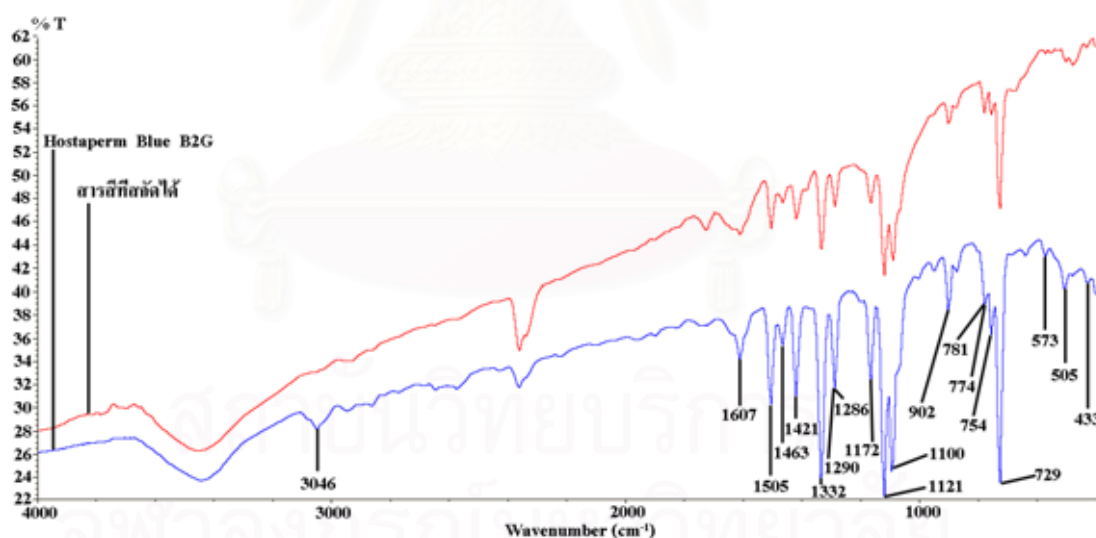
ชนิดของอักษรและเส้น	ประเภทของเส้น	ร้อยละการแผ่ของหมึก (%)	
		หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้	หมึกพิมพ์สกรีนทางการค้า
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพอลิทีฟ	เส้นนอน	116.7 ± 7.9	66.7 ± 15.7
ขนาด 10 พอยต์	เส้นตั้ง	17.6 ± 5.1	8.9 ± 2.5
ตัวอักษรภาษาอังกฤษเนกาทีฟ	เส้นนอน	47.5 ± 10.6	42.5 ± 10.6
ขนาด 10 พอยต์	เส้นตั้ง	20.0 ± 2.8	11.0 ± 7.1
ตัวอักษรภาษาไทยพอลิทีฟ	เส้นนอน	62.5 ± 5.9	45.8 ± 29.5
ขนาด 10 พอยต์	เส้นตั้ง	45.8 ± 5.9	25.0 ± 11.8
ตัวอักษรภาษาไทยเนกาทีฟ	เส้นนอน	50.0 ± 0.0	27.5 ± 17.7
ขนาด 10 พอยต์	เส้นตั้ง	10.0 ± 9.4	21.7 ± 11.8
เส้นพอลิทีฟขนาด 1 พอยต์	แนวนอน	30.0 ± 4.7	18.3 ± 7.1
เส้นเนกาทีฟขนาด 1 พอยต์	แนวนอน	12.2 ± 7.9	5.6 ± 1.6
เส้นพอลิทีฟขนาด 1 พอยต์	แนวตั้ง	32.4 ± 20.8	5.9 ± 0.0
เส้นเนกาทีฟขนาด 1 พอยต์	แนวตั้ง	25.5 ± 2.6	15.5 ± 3.9

จากตาราง 26 พบว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีแนวโน้มของร้อยละการแผ่ออกของหมึกมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้า เนื่องจากมีความหนืดน้อยกว่า โดยการแผ่ออกของหมึกมีแนวโน้มของการแผ่ในแนวนอนมากกว่าแนวตั้ง เนื่องจากทิศทางการปาดหมึกในการพิมพ์

ซึ่งทำการปาดในแนวตั้งฉากกับเส้นแนวนอน จึงทำให้หมึกสามารถลอดผ่านช่องเปิดของผ้าสกรีน และแทรกไปยังด้านล่างของผ้าสกรีนได้ง่าย

4.8.2 ความทนทานต่อแสงของหมึกพิมพ์

สารสีเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความทนทานต่อแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการตรวจสอบชนิดและการดูดกลืนแสงของสารสีที่ใช้ในสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าที่เทียบกับสารสี Hostaperm Blue B2G ก่อนการทดสอบความทนทานต่อแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ โดยทำการสกัดสารสีออกจากหมึกพิมพ์ทางการค้าด้วยสารละลายสามชนิดเพื่อละลายองค์ประกอบต่างๆ ในหมึกพิมพ์ทางการค้า ได้แก่ เฮกเซน ละลายมอนอเมอร์และสารเติมแต่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ [11] ไดเอทิลอีเทอร์ ละลายเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ [11] และโทลูอีน ละลายสารประเภทอะคริลิก และเรซินประเภทพอลิเอสเทอร์ [11] ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารสีที่สกัดได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้าด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสารสี Hostaperm Blue B2G ที่ใช้ในสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้แสดงในภาพที่ 62




ภาพที่ 62 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Hostaperm Blue B2G และสารสีที่สกัดได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้า

จากภาพที่ 62 พบว่ากราฟของสารสีที่สกัดได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้ามีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟของสารสี Hostaperm Blue B2G แสดงว่าสารสีที่ใช้ในสูตรหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้าเป็นชนิดเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบพีคที่เลขคลื่น 729, 754 และ 781 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง C-H bending ภายในบีตาออปเปอร์ทาลอไซยานิน [57] แสดงว่าสารสีในหมึก

พิมพ์ทั้งสองคือบิตาคอปเปอร์ทาโลไซยานิน เลขคลื่นอื่นๆ ที่แสดงถึงพันธะภายในคอปเปอร์ทาโลไซยานินแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ตำแหน่งเลขคลื่นและพันธะต่างๆ ภายในคอปเปอร์ทาโลไซยานินและสารสีที่สกัดได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้า

สารสี Hostaperm Blue B2G		สารสีที่สกัดได้จากหมึกพิมพ์ทางการค้า	
เลขคลื่น (cm ⁻¹)	พันธะ	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	พันธะ
433	(C-C-H) _ρ [57]	-	-
505	(C-C) _ρ of aromatic ring, (C-N-C) _ρ , (N-N) _η [57]	-	-
573	(C-C) _η of  , (C-C) _η , (C-N-C) _ρ [57]	-	-
729	(C-N) _ρ , (C-H) _ρ [57]	729	(C-N) _ρ , (C-H) _ρ [57]
754	(N-N) _η , (C-N-C) _δ , (C-C) _ρ [57]	754	(N-N) _η , (C-N-C) _δ , (C-C) _ρ [57]
774	(Cu-N) _v [57]	774	(Cu-N) _v [57]
781	(C-H) _ρ [57]	781	(C-H) _ρ [57]
902	C-N= bending [58]	902	C-N= bending [58]
1100	(C-H) _ρ [57]	1100	(C-H) _ρ [57]
1121	(C-H) _δ [57]	1121	(C-H) _δ [57]
1172	(C-H) _δ [57]	1172	(C-H) _δ [57]
1286	(C-C) _δ , (C-H) _ρ [57]	1286	(C-C) _δ , (C-H) _ρ [57]
1290	(C-N=) _v [58]	1290	(C-N=) _v [58]
1332	(C-C) _v , (N-N) _η , (C-N-C) _δ [57]	1332	(C-C) _v , (N-N) _η , (C-N-C) _δ [57]
1421	Aromatic phenyl ring [58]	1421	Aromatic phenyl ring [58]
1463	(C-C) _ρ [57]	1463	(C-C) _ρ [57]
1505	(C-N) _v , (C-N-C) _δ [57]	1505	(C-N) _v , (C-N-C) _δ [57]
1607	(C-C) _δ [57]	1607	(C-C) _δ [57]
3046	(=C-H) _v [57]	-	-

* ρ, η, δ และ v = out-of-plane bending, heaving motion, in-plane bending และ stretching

นอกจากนี้ทำการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด โดยวัดค่าการสะท้อนแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ทั้งสองในช่วง 400-700 นาโนเมตร และแก้ไขค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ (ρ) ให้เป็นค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ (R) ด้วย Saunderson correction ดังสมการ 21 [59]

$$R = \frac{\rho - r_e}{t_e t_i + r_i (\rho - r_e)} \quad (21)$$

เมื่อ R = ค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริง (Body reflectance)

ρ = ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ (Measured reflectance)

r_e = ส่วนของแสงที่สะท้อนที่ผิวหน้าชั้นฟิล์ม สำหรับพอลิเมอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 0.04

t_e = ส่วนของแสงที่ส่องผ่านผิวหน้าชั้นฟิล์ม สำหรับพอลิเมอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 0.96

r_i = ส่วนของแสงที่สะท้อนที่ผิวด้านล่างของชั้นฟิล์ม สำหรับพอลิเมอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 0.60

t_i = ส่วนของแสงที่ส่องผ่านผิวด้านล่างของชั้นฟิล์ม สำหรับพอลิเมอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 0.40

เนื่องจากชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เป็นชั้นฟิล์มกึ่งโปร่งแสงจึงต้องคำนวณค่า B ดังสมการ 22 [59] เพื่อเปลี่ยนค่าการสะท้อนแสงที่ได้ให้เป็นค่าการสะท้อนแสงของชั้นฟิล์มทึบแสง (R_∞) ดังสมการ 23 [59] จากนั้นทำการคำนวณค่า β และค่า Z เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (K) ดังสมการ 24, 25 และ 26 ตามลำดับ [59] ภาพที่ 63 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้าในช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตร

$$B = \frac{[(R_g(w) - R_g(b))(1 + R(w)R(b))] - [(R(w) - R(b))(1 + R_g(w)R_g(b))]}{2(R(b)R_g(w) - R(w)R_g(b))} \quad (22)$$

เมื่อ $R_g(w)$ = ค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงของกระดาษสีขาว

$R_g(b)$ = ค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงของกระดาษสีดำ

$R(w)$ = ค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนกระดาษสีขาว

$R(b)$ = ค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนกระดาษสีดำ

$$R_\infty = B - \sqrt{B^2 - 1} \quad (23)$$

เมื่อ R_∞ = ค่าการสะท้อนของชั้นฟิล์มที่บดแสง

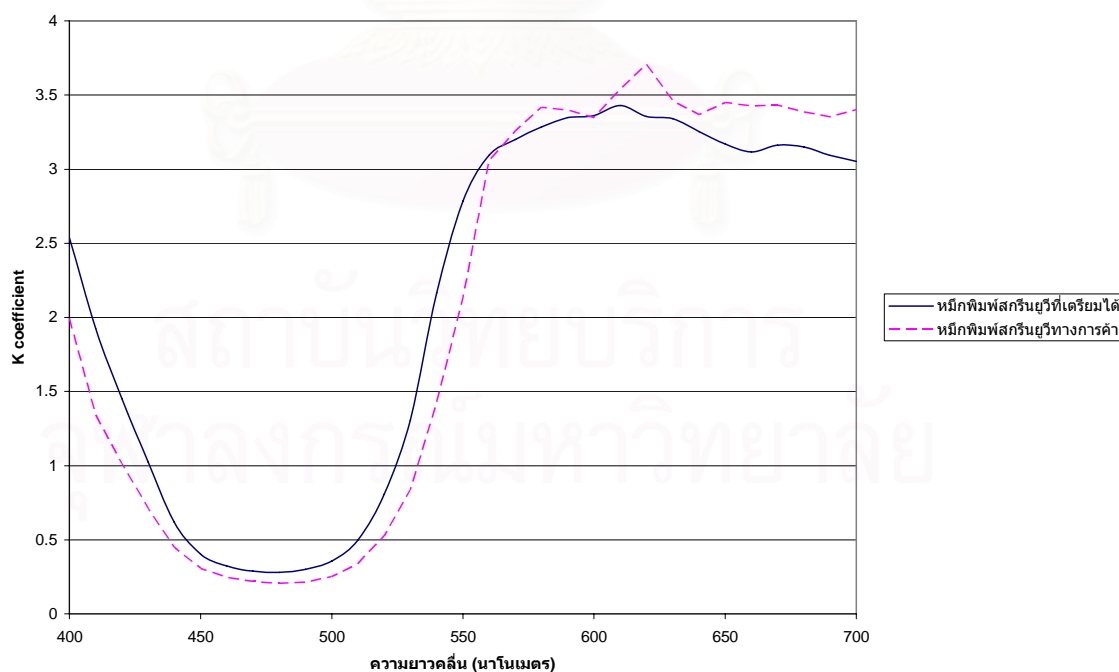
$$\beta = \left(\frac{R_g(w) - R(w)}{R(w) - R_\infty} \right) \left(\frac{1 - R_\infty^2}{1 - R_g(w)R_\infty} \right) \quad (24)$$

$$Z = \frac{1}{2} \ln(\beta + 1) \quad (25)$$

$$K = \frac{Z}{D} \left(\frac{1 - R_\infty}{1 + R_\infty} \right) \quad (26)$$

เมื่อ K = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

D = ความหนาของชั้นฟิล์ม



ภาพที่ 63 การดูดกลืนแสงของหมีกฟิมพ์สกรินยูวีที่เตรียมได้และหมีกฟิมพ์ทางการค้า

จากภาพที่ 63 ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้ามีลักษณะการดูดกลืนแสงเหมือนกัน แสดงว่าหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดใช้สารสีชนิดเดียวกัน โดยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีการดูดกลืนแสงมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้าเล็กน้อย ซึ่งแสดงดังกราฟสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้ที่อยู่เหนือกราฟของหมึกพิมพ์ทางการค้า

เนื่องจากสารสีที่ใช้ในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้าเป็นชนิดเดียวกัน ดังนั้นผลของสารสีต่อแสงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ทั้งสองจึงมีผลไปในทิศทางเดียวกัน แต่ความหนาแน่นต่อแสงของหมึกพิมพ์ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นด้วย ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบความหนาแน่นต่อแสงโดยการฉายแสงลงบนชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์เป็นเวลา 500 ชั่วโมง และ 1000 ชั่วโมง คำนวณการซีดจางของสีได้ด้วยสมการที่ 27 โดยผลแสดงดังตารางที่ 28-29

$$\Delta E_{ab}^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (27)$$

ตารางที่ 28 การเปลี่ยนแปลงสีหลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 500 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์	ก่อนฉายแสง			หลังฉายแสง 500 ชั่วโมง			Δb^*	ΔE_{ab}^*
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*		
หมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้	2.03	16.50	-28.78	3.00	14.76	-26.46	2.32	3.06
หมึกสกรีนยูวีทางการค้า	1.94	10.52	-23.07	3.37	11.36	-24.57	1.50	2.24

ตารางที่ 29 การเปลี่ยนแปลงสีหลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 1000 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์	ก่อนฉายแสง			หลังฉายแสง 1000 ชั่วโมง			Δb^*	ΔE_{ab}^*
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*		
หมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้	2.10	17.25	-29.48	3.24	15.78	-27.74	1.74	2.55
หมึกสกรีนยูวีทางการค้า	1.88	9.49	-21.96	5.89	14.63	-29.70	7.74	10.12

จากตารางที่ 28 พบว่า หลังการฉายแสงเป็นเวลา 500 ชั่วโมง ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้ามีการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*_{ab}) และการเกิดสีเหลือง (Δb^*) ไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อทำการฉายแสงเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีและการเกิดสีเหลืองของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ทางการค้ามีมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 29) ดังนั้นเมื่อนำงานที่พิมพ์ด้วยหมึกทั้งสองไปแสดงกลางแจ้งเป็นระยะเวลานาน จะพบว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความทนทานต่อแสงมากกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า นอกจากนี้ความมันวาวของหมึกพิมพ์บนแผ่นอะคริลิกที่พิมพ์ได้จากหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทั้ง 2 สูตรยังมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำไปฉายแสงที่ 500 และ 1000 ชั่วโมงซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 28 ผลการทดลองดังตารางที่ 30 และ 31

$$\% \text{ Gloss Retention} = (G_f/G_i) \times 100 \quad (28)$$

ตารางที่ 30 การเปลี่ยนแปลงความมันวาวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 500 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์	ความมันวาวก่อน ฉายแสง (%)	ความมันวาวหลังฉาย แสง 500 ชั่วโมง (%)	ความมันวาวคงเหลือ (ร้อยละ)
หมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้	47.13 ± 3.71	30.80 ± 1.70	65.35
หมึกสกรีนยูวีทางการค้า	52.40 ± 0.89	17.47 ± 2.02	33.34

ตารางที่ 31 การเปลี่ยนแปลงความมันวาวของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการฉายแสงด้วยเครื่อง Atlas Ci4000 Weather-o-Meter ที่ 1000 ชั่วโมง

หมึกพิมพ์	ความมันวาวก่อน ฉายแสง (%)	ความมันวาวหลังฉาย แสง 1000 ชั่วโมง (%)	ความมันวาวคงเหลือ (ร้อยละ)
หมึกสกรีนยูวีที่เตรียมได้	43.53 ± 2.73	13.80 ± 0.62	31.70
หมึกสกรีนยูวีทางการค้า	36.93 ± 5.20	1.80 ± 0.10	4.87

เมื่อนำชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทั้ง 2 สูตรมาผ่านการฉายแสงแล้ววัดความมันวาวเทียบกับก่อนฉายแสงพบว่า ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีการลดลงของความมันวาวมากกว่าชั้นฟิล์มจากหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้อย่างเห็นได้ชัด โดยหมึกพิมพ์ทางการค้ามีการลดลงของความมันวาวมากถึง 66.66 % และให้ความมันวาวคงเหลือต่ำกว่าความมัน

วาวของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้เมื่อฉายแสง 500 ชั่วโมง และถ้าฉายแสงนานขึ้นเป็น 1000 ชั่วโมง พบว่าความมันวาวของหมึกพิมพ์ทางการค้าลดลงถึง 96.13 % ในขณะที่ความมันวาวของหมึกที่เตรียมได้ลดลงเพียง 68.30 % ซึ่งการลดลงของความมันวาวเมื่อชั้นฟิล์มได้รับแสงนั้น เป็นผลจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชั้นฟิล์มเมื่อได้รับแสง ทำให้เกิดโครงสร้างเล็กๆ ขึ้นที่บริเวณพื้นผิวชั้นฟิล์ม [49] ดังนั้นชั้นฟิล์มจะมีการกระเจิงแสงมากขึ้น ความมันวาวจึงลดลง ซึ่งอาจชี้ให้เห็นว่าสูตรหมึกที่เตรียมได้มีความทนทานต่อแสงมากกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้าด้วยองค์ประกอบของสูตรหมึกที่ใช้คืออะลิฟาติกยูรีเทนอะคริเลตซึ่งมีความทนทานต่อแสงมากกว่าชนิดเอโรมาติก [49]

4.9 การเปรียบเทียบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้า

จากการทดสอบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวี สามารถสรุปเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้าดังแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบสมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้และหมึกพิมพ์ทางการค้า

สมบัติของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์	หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้	หมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า
พลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มแห้ง	สูงกว่า	ต่ำกว่า
ความมันวาว	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
ความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์ม	ไม่สามารถเปรียบเทียบได้	ไม่สามารถเปรียบเทียบได้
การยึดติดของชั้นฟิล์ม	ต่ำกว่า	มากกว่า
ความคมชัดของเส้นและอักษร	น้อยกว่า	มากกว่า
ความแข็งแรงของชั้นฟิล์ม	มากกว่า	น้อยกว่า
ความทนต่อแสง	สูงกว่า	ต่ำกว่า
การระคายเคืองต่อผิวหนัง	ไม่ระคายเคือง	ระคายเคือง
การทำความสะอาดหมึกออกจากผ้าสกรีน	ง่าย	ยาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสง Irgacure 2100 และ Darocur 1173 ที่ใช้ในสูตรหมึกพิมพ์มีผลต่อสมบัติของหมึกพิมพ์ที่ได้แตกต่างกัน โดย Irgacure 2100 ให้สมบัติของหมึกพิมพ์ดีกว่าโดยมีความไวแสงมากกว่า ใช้พลังงานรังสียูวีในการแห้งของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์น้อยกว่า และความแข็งแรงของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หลังการแห้งมีสมบัติดีกว่าสูตรที่ใช้ Darocur 1173 เป็นองค์ประกอบ เมื่อนำ Irgacure 2100 มาใช้เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงร่วมกับมอนอเมอร์ Ebecryl 145 และ โอลิโกเมอร์ Ebecryl 284 เพื่อคำนวณหาสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมโดยใช้การออกแบบของผสม พบว่าสัดส่วนของ Ebecryl 145, Ebecryl 284 และ Irgacure 2100 ในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เหมาะสมโดยคำนวณจากขอบเขตที่ต้องการของพลังงานรังสียูวีที่ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งในช่วง 298-596 mJ/cm² และความทนต่อการขีดข่วนของชั้นฟิล์มในช่วง 500-700 กรัม คือ 1.000-1.007, 2.515-2.600 และ 0.356-0.386 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าพบว่า หมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ามีความไวแสงและการยึดติดที่ดีกว่าหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ นอกจากนี้หมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้ายังให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดีกว่าในด้านความละเอียดของตัวอักษรและเส้น เนื่องจากมีการแผ่ของหมึกน้อยกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้ อย่างไรก็ตาม หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมได้มีความแข็งแรงของชั้นฟิล์มและความทนทานต่อแสงสูงกว่าหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับหมึกพิมพ์ที่ใช้พิมพ์ป้ายซึ่งต้องอยู่ภายใต้สภาวะต่างๆ กลางแจ้ง นอกจากนี้หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมยังมีข้อดีเหนือกว่าหมึกพิมพ์ทางการค้าในด้านความปลอดภัย เนื่องจากไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนัง และยังสามารถทำความสะอาดออกจากผ้าสกรีนบนแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่า จึงมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

มอนอเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นมอนอเมอร์ที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ ซึ่งเพียงพอต่อการแห้งของหมึกพิมพ์ อย่างไรก็ตาม หากต้องการให้หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่ได้มีความไวแสงเพิ่มขึ้นสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนมอนอเมอร์ให้มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้นหรือลดปริมาณสารสีให้น้อยลง นอกจากนี้ การลดการแผ่ออกของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้สามารถทำได้โดยการเพิ่มความหนืดของหมึกพิมพ์

รายการอ้างอิง

- [1] อรัญ หาญสืบสาย. ระบบการพิมพ์แบบต่างๆ และการนำไปใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ตะวันออก, 2548 หน้า 15.
- [2] Screen Printing [online], Available from <http://glossary.ippaper.com/default.asp?req=knowledge/article/153>, [2007, August 14]
- [3] วิเชียร และนางเยาว์ จิระกรานนท์. การพิมพ์สกรีน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: อูษาการพิมพ์, 2546 หน้า 2, 22-26, 90-93, 98, 102-103.
- [4] Albert, K. Ceramic Screen Printing. 3rd Edition. Ohio: The Signs of the Times Publishing, 1984 pp. 7-10.
- [5] ศุภชัย ต้นศิริ. เอกสารประกอบการสอนวิชาการพิมพ์ซิลค์สกรีน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 35.
- [6] William, A. Screen Printing : A Literature Review. Southampton: Hobbs the Printers, 1994 pp. 50-51.
- [7] Andre, M.P. Stencil Making : The Technical Fundamentals. Millenium Edition. Como: Saatiprint, 2000 pp. 183-184.
- [8] Phail, D.M. Screen Printing is a Science, Soldering & Surface Mount Technology. 8 (2) (1996): 25-28.
- [9] ยางปาดสี [online], Available from <http://www.skcolorchem.co.th/article5.html>, [2007, August 14]
- [10] Braithwaite, M., Davidson, S., Holman, R., Lowe, C., Oldring, P.K.T., Salim, M.S., and Wall, C. Chemistry & Technology of UV & EB Formulation for Coatings, Inks & Paints. Vol.4, London: Keith Pottinger Associates, 1991 pp. 6, 20-21, 34-36, 49, 55-61, 73.
- [11] Leach, R.H., Pierce, R.J., Hickman, E.P., Mackenzie, M.J., and Smith, H.G. The Printing Ink Manual. 5th Edition. London: Chapman & Hall, 1993 pp. 175, 285-287, 603, 726-735, 867.
- [12] [online], Available from <http://www.sartomer.com/proddetail.asp?plid=1&sgid=3&prid=SR9003>, [2007, August 14]

- [13] Jian-feng, H., Quan-hong, Z., and Qin-ying, D. Investigation of Imprinting Parameters and their Recognition Nature for Quinine-molecularly Imprinted Polymers. Spectrochimica Acta Part A. 67(2007): 1297-1305.
- [14] Keller, L., Decker, C., Zahouily, K., Benfarhi, S., Le Meins, J.M., and Mieke-Brendle, J. Synthesis of Polymer Nanocomposites by UV-curing of Organoclay-acrylic Resins. Polymer. 45 (2004): 7437-7447.
- [15] Ronald, E.T. Printing Inks : Formulation Principles, Manufacture and Quality Control Testing Procedures. Southampton: Hobbs the Printers, 1994 pp. 129-137, 163-170, 270-272, 307-315.
- [16] Ciba Irgacure 2100 [Online], Available from http://www.cibasc.com/tds_2100-2.pdf?wobj=48094#page=3, [2006, December 14]
- [17] Decker, C., Zahouily, K., Decker, D., Nguyen, T., and Viet, T. Performance Analysis of Acylphosphine Oxides in Photoinitiated Polymerization. Polymer. 42 (2001): 7551-7560.
- [18] Moon, J.H., Shul, Y.G., Han, H.S., Hong, S.Y., Choi, Y.S., and Kim, H.T. A Study on UV-Curable Adhesives for Optical Pick-up : I. Photoinitiator Effects. International Journal of Adhesion & Adhesives. 25 (2005): 301-312.
- [19] Lecamp, L., Houllier, F., Youssef, B., and Bunel, C. Photoinitiated Cross-linking of a Thiol-Methacrylate System. Polymer. 42 (2001): 2727-2736.
- [20] Ciba Darocur 1173 [Online], Available from http://www.cibasc.com/pf/pf_docMDMS.asp?tradenam e=DAROCUR%201173&docnu mber=1145&app_id=ACROBAT&targetlibrary=CHBS_CE_MADS&dt=TDS&ind=20, [2006, November 13]
- [21] Organic Pigment Blue [Online], Available from <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=1678>, [2006, September 23]
- [22] Lowe, C., Webster, G., Kessel, S., McDonald, I., and Rayner, G. Chemistry & Technology of UV & EB Formulation for Coatings, Inks & Paints. Vol.4, Bristol: John Wiley & Sons, 1997 p. 133.
- [23] Burns, K.G., Jezequel, H., and Gould, N.P. Radiation-curable ink compositions comprising a solid N-vinyl monomer US Patent Number 5395863.
- [24] Christian, P.D. Curable Ink Composition US Patent Number 6232359.

- [25] Three roll mill [online], Available from
<http://www.mixers.com/Proddetails.asp?ProdID=115>, [2007, August 14]
- [26] George, O. Principles of Polymerization. Chapter 3. 4th Edition. New York: Wiley-Interscience, 2004 pp. 204-206.
- [27] Fred, W.B., and JR. Textbook of Polymer Science. 2nd Edition. John Wiley & Sons, 1971 pp. 281-283.
- [28] Snee, D.R. Developing Blending Models for Gasoline and Other Mixtures. Technometrics. 23 (2), (1981).
- [29] Raymond, B.S. Introduction to Polymer Chemistry. International Student Edition. Tokyo: Tosho Printing, 1971 p. 36.
- [30] Collyer, A.A., and Clegg, D.W. Rheological Measurement. 2nd Edition. Chapman & Hall, 1998 pp. 672-673.
- [31] Bob, T. Printing Materials: Science and Technology. Leatherhead: Pira International, pp. 357, 365.
- [32] Jerald, D.P., James, H.B., and Edward, F.B. Introduction to Fluid Mechanics and Heat Transfer. Addison-Wesley, 1969 p. 541.
- [33] Noel, D.N. Fluid Mechanics. Addison-Wesley, 1970 p. 10-11.
- [34] Surface Tension [Online], Available from <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/surten.html#c4>, [2006, September 14]
- [35] Murrell, J.N., and Jenkins, A.D. Properties of Liquids and Solutions. 2nd Edition. John Wiley & Sons, 1994 p. 264.
- [36] Neumann, A.W., and Jan, K.S. Applied Surface Thermodynamics, Surfactant Science Series. Vol. 63, Marcel Dekker, 1996 p. 240.
- [37] Stanley, H. Surface and Interfacial Tension : Measurement, Theory, and Applications, Surfactant Science Series. Vol. 119, New York: Marcel Dekker, 2004 pp. 426-427.
- [38] Aveyard, R., and Haydon, D.A. An Introduction to the Principles of Surface Chemistry. Cambridge: University Press, 1973 pp. 195-199.
- [39] Davies, J.T., and Rideal, E.K. Interfacial Phenomena. 2nd Edition. New York: Academic Press, 1961 pp. 34-35.
- [40] Tharwat, F.T. Applied Surfactants : Principles and Applications. Weinheim: Wiley-VCH, 2005 pp. 193-199.

- [41] Drew, M. Surfaces, Interfaces, and Colloids : Principles and Applications. 2nd Edition. New York: Wiley-VCH, 1999 pp. 416, 423-424, 432-434.
- [42] Arthur, W., and Adamson. Physical Chemistry of Surfaces. 4th Edition. New York: John Wiley, 1982 pp. 348-351, 433-435.
- [43] Gabor, A. and Somorjai. Introduction to Surface Chemistry and Catalysis. New York: John Wiley, 1994 pp. 296-297.
- [44] Alphonsus, V.P. Adhesion and Adhesives Technology : An Introduction. Gersthofen: Hanser-Gardner, 1997 pp. 84-85, 95-96.
- [45] Attila, O., and Julius G. V. Characterization of Adhesion at Solid Surfaces: Development of an Adhesion-Testing Device, European Polymer Journal. 41 (2005): 2803-2823.
- [46] Van, O., and Carel, J. Interfacial Forces in Aqueous Media. New York: Marcel Dekker, 1994 pp. 113-117.
- [47] Patacz, C., Coqueret, X., and Decker, C. Electron-beam Initiated Polymerization of Acrylate Compositions 3: Compared Reactivity of Hexanediol and Tripropyleneglycol Diacrylate under UV or EB Initiation. Radiation Physics and Chemistry. 62 (2001): 403-410.
- [48] Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test, Annual Book of ASTM Standards 2006, Section Six Paints, Related Coatings, and Aromatics, Vol. 06.01 Paint-Tests for Chemical, Physical, and Optical Properties; Appearance: pp. 28-32, 233-235, 396-402 and 408-410.
- [49] Byoung, H.L., and Hyun, J.K. Influence of Isocyanate Type of Acrylated Urethane Oligomer and of Additives on Weathering of UV-Cured Films. Polymer Degradation and Stability. (2006): 1025-1035.
- [50] Juan, S., Norman, S.A., Michele, E., Adam, M., and Stephen, W. Photoyellowing and Discolouration of UV Cured Acrylated Clear Coatings Systems: Influence of Photoinitiator Type. Polymer Degradation and Stability. 64 (1999): 39-48.
- [51] Segurola, J., Allen, N., Edge, M., and Roberts, I. Photochemistry and Photoinduced Chemical Crosslinking Activity of Acrylated Prepolymers by Several Commercial Type I Far UV Photoinitiators. Polymer Degradation and Stability. 65 (1999): 153-160.

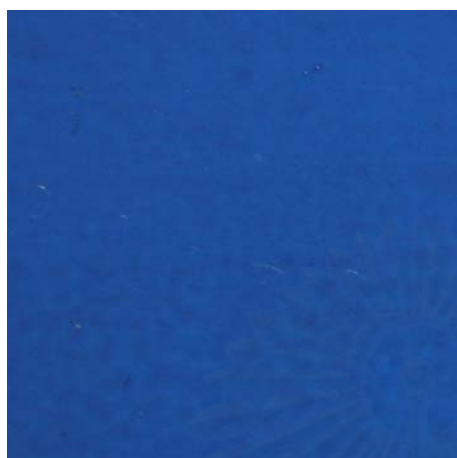
- [52] Lecamp, L., Youssef, B., Bunel, C., and Lebaudy, P. Photoinitiated Polymerization of a Dimethacrylate Oligomer: 1. Influence of Photoinitiator Concentration, Temperature and Light Intensity. Polymer. 38 (25), (1997): 6089-6096.
- [53] Huang, P., and Wang, L. Study on the Choice of Photoinitiator for Printing Ink. Radtech Asia's 03 Conference: at Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan, December 9-12, 2003 pp. 420-423.
- [54] Studer, K., Decker, C., Babe, C., Beck, E., Schwalm, R., and Gruber, N. Redox and Photoinitiated Crosslinking Polymerization II. Neat Acrylate Resin. Progress in Organic Coatings. 53 (2005): 134-146.
- [55] Studer, K., Decker, C., Beck, E., and Schwalm, R. Thermal and Photochemical Curing of Isocyanate and Acrylate Functionalized Oligomers. European Polymer Journal. (2005): 157-167.
- [56] Silverstein, R.M., Bassler, G.C., and Morrill, T.C. Spectrometric Identification of Organic Compounds. 5th Edition, New York: John Wiley & Sons, pp.122-123.
- [57] Singh, S., Tripathi, S.K., and Saini, G.S.S. Effect of Pyridine on Infrared Absorption Spectra of Copper Phthalocyanine. Spectrochimica Acta Part A. (2007).
- [58] Achar, B.N., and Lokesh, K.S. Studies on Polymorphic Modifications of Copper Phthalocyanine. Journal of Solid State Chemistry. 177 (2004): 1987-1993.
- [59] Roderick, M. Colour Physics for Industry. 2nd Edition, West Yorkshire: Staples Printers Rochester, 1997 pp. 299-307.



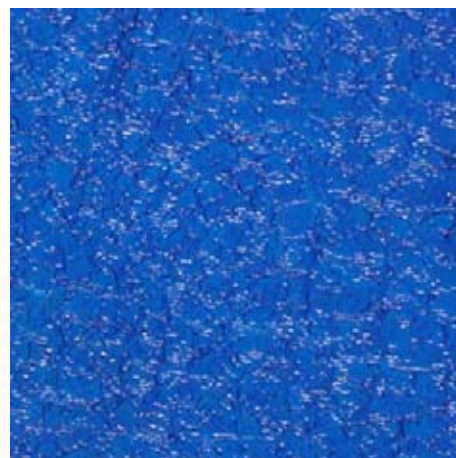
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก



(ก)

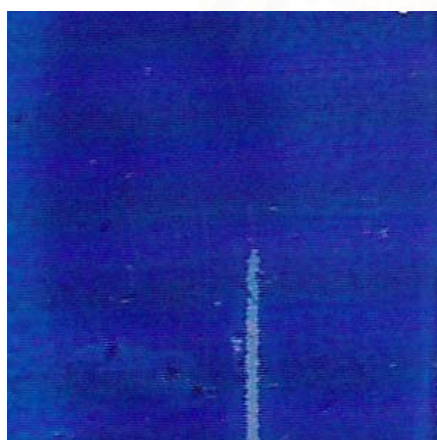


(ข)

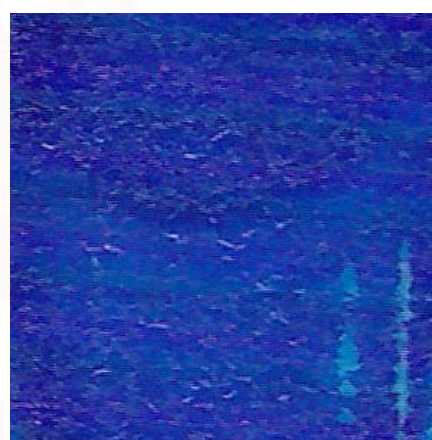
ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวี

(ก) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Irgacure 2100

(ข) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Darocur 1173



(ก)



(ข)

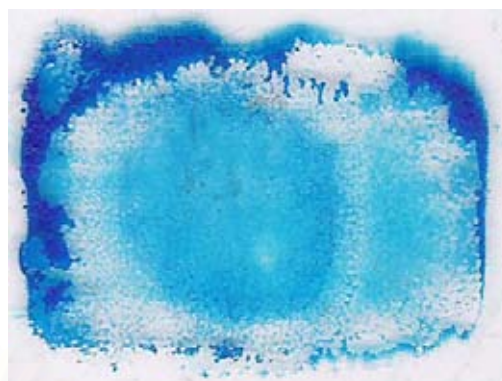
ผลการทดสอบความทนต่อการขีดข่วนด้วย Scratch Test

(ก) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Irgacure 2100

(ข) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Darocur 1173



(ก)

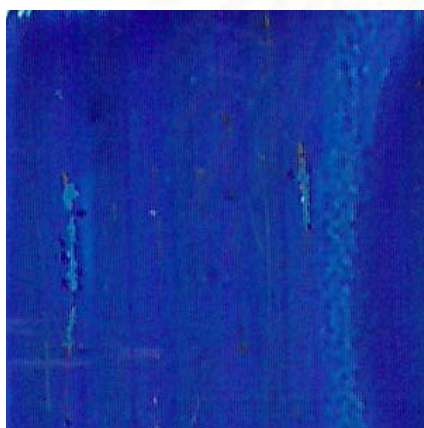


(ข)

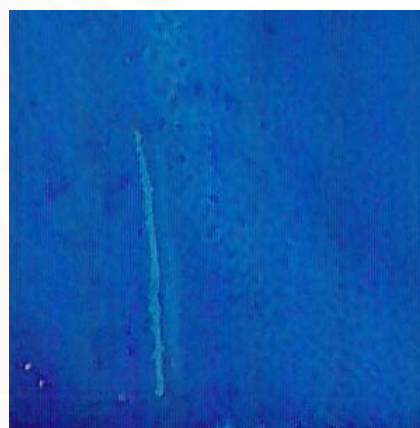
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแนวตั้งของชั้นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิก

(ก) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Irgacure 2100

(ข) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่มีสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงเป็น Darocur 1173



(ก)



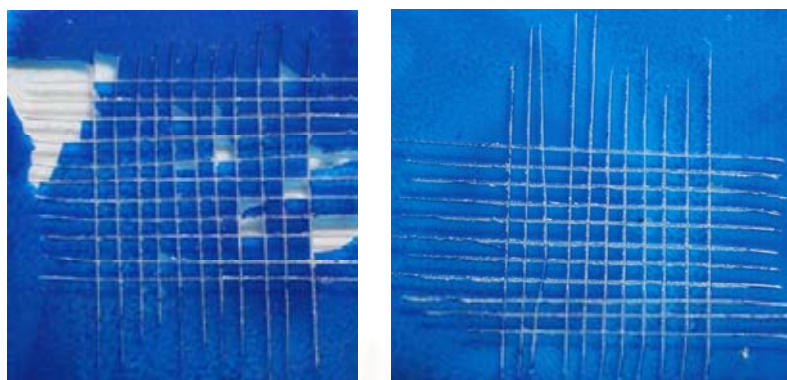
(ข)

ผลการทดสอบความแข็งแรงของชั้นฟิล์มด้วยวิธี Pencil Test

(ก) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียม

(ข) หมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



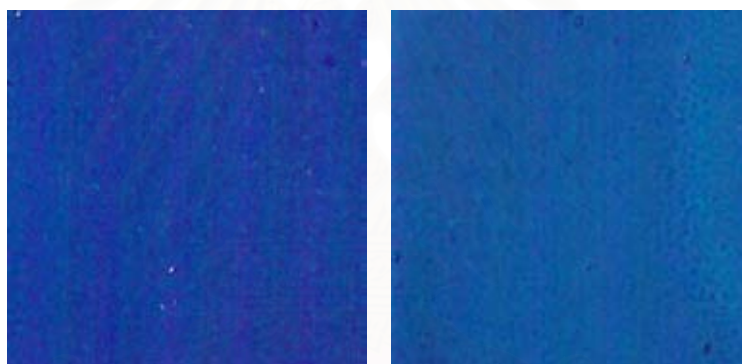
(ก)

(ข)

ผลการทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มด้วยวิธี Cross-Cut Tape Test

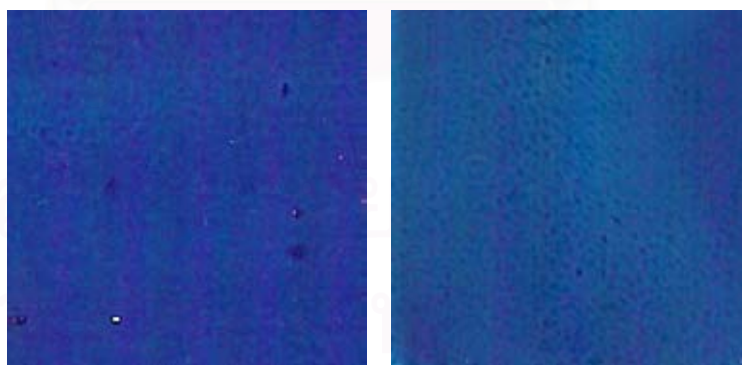
(ก) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียม (2B)

(ข) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า (4B)



ก

ข



ค

ง

ผลการทดสอบความทนทานต่อแสงของชั้นฟิล์ม

(ก) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมที่ 500 ชั่วโมง

(ข) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าที่ 500 ชั่วโมง

(ค) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียมที่ 1000 ชั่วโมง

(ง) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้าที่ 1000 ชั่วโมง

0.01 pt
0.05 pt
0.25 pt
0.50 pt
1.00 pt
2.00 pt
3.00 pt



24 Big Examples
18 Big Examples
14 Big Examples
12 Big Examples
10 Big Examples
08 Big Examples
06 Big Examples

Big Examples 06
Big Examples 08
Big Examples 10
Big Examples 12
Big Examples 14
Big Examples 18
Big Examples 24

๐๑ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๒ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๓ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๔ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๕ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๖ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๗ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้
๐๘ ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้

ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๒๔
ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๑๘
ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๑๔
ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๑๒
ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๑๐
ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๐๘
ใหญ่จื๊ากัณเฑาะไฮ้ ๐๖

ตัวอย่างเลขที่.....วันที่.....

(ก)



(ข)

แบบทดสอบที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สกรีนยูวีบนแผ่นอะคริลิก

(ก) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีที่เตรียม

(ข) ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สกรีนยูวีทางการค้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมเกียรติ ลวะวิบูลย์ เกิดวันที่ 9 เมษายน 2525 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546 และปริญญาโทบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย