ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนพอลิโอลิฟิน

นางสาวจิตราพร ศรีทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF PIGMENT-TO-BINDER RATIO ON ADHESION AND PRINT QUALITY OF WATER-BASED FLEXOGRAPHIC INK APPLIED ON POLYOLEFIN

Miss Jittraporn Srithong

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนพอลิโอลิฟิน
โดย	นางสาวจิตราพร ศรีทอง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

…… กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์)

จิตราพร ศรีทอง : ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนพอลิโอลิฟิน (EFFECTS OF PIGMENT-TO-BINDER RATIO ON ADHESION AND PRINT QUALITY OF WATER-BASED FLEXOGRAPHIC INK APPLIED ON POLYOLEFIN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์, 69 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอัตราส่วนสารสีทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของฟิล์มพอลิโอลิฟิน ปรับผิวฟิล์มพอลิโอลิฟินด้วยคอโรนาดิสชาร์จ วัดมุมสัมผัสและคำนวณพลังงานผิวของฟิล์ม หาอัตราส่วนของสารยึดต่อน้ำในการกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point แล้วกระจายสารสีโดยใช้ ball mill ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำต่อสารช่วยกระจายอนุภาค วัดขนาดอนุภาคสารสีที่ได้จากการบดที่เวลาต่าง ๆ เตรียมหมึกพิมพ์ฐานน้ำ 12 สูตร ด้วยสารสีที่กระจายอนุภาคแล้ว และใช้ปริมาณสารทำข้นที่คงตัว แต่สารยึด คาร์นูบาแวกซ์และสารลดแรงตึงผิวใช้ปริมาณต่างกัน วัดแรงตึงผิว ความเป็นกรด-เบส และความหนืดของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ พิมพ์หมึกแต่ละสูตรบนฟิล์ม LLDPE และ CPP ด้วยเครื่อง IGT-F1 ตรวจสอบความกระด้ำกระด่าง การยึดติด ความมันวาว ค่าสี ความดำ และการทนต่อการขัดถูของสิ่งพิมพ์พบว่า การปรับผิวหน้าด้วยคอโรนาดิสชาร์จมีผลทำให้ค่าพลังงานผิวและความขรุขระของฟิล์ม LLDPE และ CPP เพิ่มขึ้น แต่ผิวหน้าบางส่วนของ CPP ถูกทำลาย เมื่อใช้อัตราส่วนสารสีต่อสารยึดที่มีปริมาณสารยึดมากขึ้น สารสีมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเมื่อใช้เวลาบดกระจายสารสีที่เท่ากัน สารช่วยกระจายสารสีชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุลดขนาดอนุภาคได้ดีกว่าและสารสีไม่ตกตะกอนในหมึกพิมพ์ เมื่อปริมาณสารยึดในอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดหมึกพิมพ์ลดลง อัตราส่วนสารสีต่อสารยึดมีผลต่อความมันวาว ความแตกต่างสีและค่าความดำของหมึกพิมพ์บนฟิล์มมีค่าน้อยลงด้วยการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารยึด ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์มีผลต่อความกระด้ำกระด่าง ความมันวาว และเพิ่มการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม CPP แต่ลดการทนต่อการขัดถูบนฟิล์ม LLDPE เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ค่าแรงตึงผิวและความหนืดของหมึกพิมพ์ลดลง สารลดแรงตึงผิวลดความมันวาวแต่เพิ่มการยึดติดและการทนต่อการขัดถูของฟิล์ม CPP แต่เมื่อใช้ปริมาณมากเกินไป ความกระด้ำกระด่างของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP เพิ่มขึ้น หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่เตรียมได้สามารถยึดติดบนฟิล์มพอลิโอลิฟินและให้คุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ดี

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ปีการศึกษา 2554

5272247123 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY
KEYWORDS : WATER-BASED FLEXOGRAPHIC INK / DANIEL FLOW POINT METHOD / MODIFIED POLYURETHANE BINDER / LLDPE / CPP

JITTRAPORN SRITHONG: EFFECTS OF PIGMENT-TO-BINDER RATIO ON ADHESION AND PRINT QUALITY OF WATER-BASED FLEXOGRAPHIC INK APPLIED ON POLYOLEFIN. ADVISOR: ASST. PROF SUPAPORN NOPPAKUNDILOKRAT, Ph.D., 69 pp.

This research aim was to study the effects of phthalocyanine blue pigment-to-modified polyurethane binder ratio in the water-based flexographic inks on adhesion and printing qualities of olefin films. Olefin films were treated with corona discharge. The contact angles on non-treated and treated films were measured and their energy surfaces were calculated. The pigment-to-binder-to-water ratio for pigment dispersion was observed by Daniel flow point method. Pigment dispersion by ball mill with an optimal ratio of pigment: binder: water: dispersant was investigated. The pigment particle sizes from dispersion at various grinding times were measured. The twelve ink formulations were prepared with pigment dispersion paste, fixed thickener content and various contents of binder, carnuba wax and surfactant. The surface tension, pH and viscosity of the prepared inks were measured. Each ink formulation was printed on LLDPE and CPP films with IGT-F1. The mottle, adhesion, gloss, color value, density and rub resistant of the prints were investigated. It was found that the surface energy and roughness of LLDPE and CPP films increased with corona discharge. However, some part of CPP film surface was damaged. When binder content increased, the particle size of pigment was less at the same dispersion time. Non-ionic, modified fatty acid derivative dispersant gave better reduction the particle size and no flocculation of pigment in inks. When binder content in pigment-to-binder ratio increased, viscosity of ink decreased. Pigment-to-binder ratio affected gloss. The color difference and density decreased with increasing binder content. Carnuba wax content affect mottle and gloss. The carnuba wax increased rub resistant on CPP film, but it decreased rub resistant on LLDPE film. When surfactant increased, the surface tension and viscosity of ink was decreased. Surfactant decreased gloss but increased adhesion and rub resistance of CPP film. When used excess surfactant, prints mottle on LLDPE and CPP films increased. The prepared water-based flexographic ink could adhesion on polyolefin films and provided good printing qualities.

Department : Imaging and Printing Technology Student's Signature .....
Field of Study : Imaging Technology Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011 .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อรัญ หาญสืบสาย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร . สุดา เกียรติกำจรวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ และอาจารย์ ดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาให้คำแนะนำและสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บริษัท micropowders ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี wax

ขอขอบคุณ บริษัท DKSH ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี สารยึดและ สารเติมแต่ง

ขอขอบคุณ บริษัท TPN Flexpak ที่ให้ความอนุเคราะห์ฟิล์มพลาสติก PE PP PVC PET และ Nylon

ขอขอบคุณ บริษัท Print master ที่ให้ความอนุเคราะห์ฟิล์มพลาสติก PE PP

ขอขอบคุณ บริษัท Clariant chemicals ที่ให้ความอนุเคราะห์สารสีและสารยึด

ขอขอบคุณ บริษัท Qualimer ที่ให้ความอนุเคราะห์สารยึด

ขอขอบคุณ คุณวัลลภ แซ่โล้ว บริษัท เซโค แอดวานด์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเติมแต่ง

ขอขอบพระคุณพี่สมชาย ภวชินวร เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการ ที่สละเวลามาคอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย

ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ และสาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพทุกคนที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 1

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น..... 2

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย..... 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย..... 2

1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี..... 4

2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์..... 5

2.3 หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ..... 7

2.4 การกระจายสารสีด้วย ball mill..... 8

2.5 Daniel flow point method..... 10

2.6 อิทธิพลของแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์กับการพิมพ์บนฟิล์มพลาสติก..... 10

2.7 มุมสัมผัส..... 12

2.8 การปรับผิวฟิล์มพลาสติก..... 14

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 17

3.1 สารเคมีและเครื่องแก้ว..... 17

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์..... 18

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 19

หน้า

3.3.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบหมึกพิมพ์..... 19
3.3.2 ศึกษาผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อพลังงานผิวและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP..... 20
3.3.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตำทำละลายต่อการกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point..... 20
3.3.4 ศึกษาผลของสารช่วยกระจายสารสีต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสารสี..... 21
3.3.5 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนฟิล์ม LLDPE และ CPP..... 21
3.3.5.1 การวัดสมบัติหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4..... 22
3.3.5.1.1 ความหนืดหมึกพิมพ์..... 22
3.3.5.1.2 ความเป็นกรด-เบส..... 22
3.3.5.1.3 แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์..... 22
3.3.5.2 การตรวจสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์..... 23
3.3.5.2.1 การยึดติดของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์มด้วยวิธี cross-cut tape test..... 23
3.3.5.2.2 ความกระด่างกระดำ (mottle) ของสิ่งพิมพ์..... 23
3.3.5.2.3 ค่าสี L*a*b*ของสิ่งพิมพ์..... 24
3.3.5.2.4 ค่าความดำของสิ่งพิมพ์..... 24
3.3.5.2.5 ค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์..... 24
3.3.6 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการทนการขัดถูและสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์..... 24
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... 26
4.1 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบหมึกพิมพ์.... 26
4.2 ผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อพลังงานผิวและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP..... 27
4.3 ผลการหาอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายเพื่อเตรียมกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point..... 31

หน้า

4.4 ผลของสารช่วยกระจายสารสีต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสารสี..... 34
4.5 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนฟิล์ม LLDPE และ CPP..... …… 37
4.5.1 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อสมบัติหมึกพิมพ์.....
4.5.2 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อคุณภาพสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP..... 39
4.5.2.1 การยึดติดของหมึกพิมพ์..... 40
4.5.2.2 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์..... 41
4.5.2.3 ความมันวาวของสิ่งพิมพ์..... 44
4.5.2.4 ค่าสี L*a*b* บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT……..... 45
4.5.2.5 ค่าความดำบนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT……..... 47
4.6 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการทนต่อการขัดถูและสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์..... 50
4.6.1 ผลของชนิดและปริมาณคาร์นูบาแวกซ์และสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์..... 50
4.6.1.1 แรงตึงผิวและความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12..... 50
4.6.1.2 ความหนืดหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12..... 52
4.6.2 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการทนต่อการขัดถู และสารลดแรงตึงผิวในหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 ต่อคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยคอโรนาดิสชาร์จ..... 54
4.6.2.1 การยึดติดของหมึกพิมพ์..... 54
4.6.2.2 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์..... 56
4.6.2.3 ความมันวาวของหมึกพิมพ์..... 58
4.6.2.4 การทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์..... 61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 64
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 64
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 65

หน้า

รายการอ้างอิง..... 66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของสูตรทั่วไปของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ.....	8
3.1	ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกระจายสารสีสูตร A, B และ C.....	21
3.2	องค์ประกอบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4.....	22
3.3	องค์ประกอบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีสารเพิ่มการทนการขัดถูและสารลดแรงตึงผิวสูตรที่ 5-12.....	25
4.1	ผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อมุมสัมผัสของน้ำและเมทิลีนไอโอไดด์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP.....	28
4.2	ค่าพลังงานผิวบนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP ก่อนและหลังการปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ.....	29
4.3	อัตราส่วนของสารยึดพอลิยูรีเทนต่อน้ำที่ทำให้เกิดการไหลจากวิธี Daniel flow point.....	32
4.4	ขนาดของอนุภาคสารสีเมื่อใช้อัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อน้ำต่างกันที่เวลาบดต่าง ๆ.....	33
4.5	ขนาดอนุภาคสารสีที่กระจายตัวด้วยสูตร A, B และ C ที่เวลาบดต่าง ๆ.....	34
4.6	ขนาดอนุภาคสารสีที่เวลาบดต่าง ๆ ของการเตรียมกระจายสารสีสำหรับเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ.....	35
4.7	แรงตึงผิวและความเป็นกรด- เบสของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4..	38
4.8	ร้อยละของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่หลุดออกจากวัสดุพิมพ์ก่อนและหลังการปรับผิวฟิล์ม LLDPE และ CPP.....	40
4.9	ความมันวาวที่ geometry 60° ของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ.....	44
4.10	ค่าสี L*a*b* ของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60 80 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT.....	46
4.11	ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60 80 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตรบนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT.....	48

ตารางที่		หน้า
4.12	แรงตึงผิวและค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12.....	50
4.13	การยึดติดของของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP.....	55
4.14	ความมันวาวที่ geometry 60° ของสิ่งพิมพ์บนฟิล์มที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ต่างกัน (สูตรที่ 5-7).....	59
4.15	ความมันวาวที่ geometry 60° ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ (สูตรที่ 8-11).....	60
4.16	สรุปผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP.....	63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	4
2.2	โครงสร้างสารสีคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู.....	5
2.3	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวไซลอกเซนดัดแปรด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล.....	6
2.4	โครงสร้างทั่วไปของสารลดแรงตึงผิวเจมินิ.....	7
2.5	ลักษณะการหมุนแบบต่าง ๆ ของ ball mill.....	9
2.6	อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำจาก Daniel flow point.....	10
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับแรงตึงผิวจากสมการ Young's Equation.	12
2.8	มุมสัมผัสที่ระดับการเปียกผิวต่าง ๆ.....	13
2.9	การวัดมุมสัมผัสแบบ advancing contact angle และ receding contact angle.....	13
2.10	กลไกการเกิดอนุมูลอิสระและตามด้วยการเกิดออกซิเดชันบนพื้นผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีน.....	15
2.11	กลไกการเกิดหมู่มีขั้วของพอลิโพรพิลีนที่ปรับผิวด้วยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ.....	16
3.1	ลักษณะของร้อยละการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์.....	23
4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของสารยึด สารลดแรงตึงผิว สารทำข้น สารช่วยกระจายสารสี M และ C.....	26
4.2	ภาพถ่าย SEM ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 5000 เท่าของฟิล์ม LLDPE และ CPP: (ก) ฟิล์ม LLDPE ก่อนปรับผิว (ข) แผ่นฟิล์ม LLDPE หลังปรับผิว (ค) ฟิล์ม CPP ก่อนปรับผิว (ง) ฟิล์ม CPP หลังปรับผิว (จ) ฟิล์ม CPP หลังปรับผิวที่ผิวหน้าถูกทำลายแบบที่ 1 (ฉ) ฟิล์ม CPP หลังปรับผิวที่ผิวหน้าถูกทำลายแบบที่ 2.....	30
4.3	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารยึดพอลิยูรีเทนต่อน้ำที่ทำให้เกิดการไหลจากวิธี Daniel flow point.....	32
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับปริมาณอนุภาคสารสีที่เวลาบดต่าง ๆ.....	37
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 และหมึกพิมพ์ทางการค้า.....	38

ภาพที่ หน้า

4.6 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ไม่ได้ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม LLDPE (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม CPP (ช) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม CPP (ซ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม CPP..... 42

4.7 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม LLDPE (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม CPP (ช) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม CPP (ซ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม CPP..... 43

4.8 ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP..... 45

4.9 ค่าความแตกต่างสีที่ความละเอียดโมแอนนิล็อกของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4..... 47

4.10 ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อกต่าง ๆ..... 49

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7..... 52

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11..... 53

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 เทียบกับหมึกพิมพ์ทางการค้า..... 54

4.14 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 5-7 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 6 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 7 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 บนฟิล์ม CPP (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 6 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 7 บนฟิล์ม CPP..... 56

4.15 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 8-11 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 8 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 9 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึก

ภาพที่		หน้า
	พิมพ์สูตรที่ 10 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 11 บนฟิล์ม LLDPE (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 8 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 9 บนฟิล์ม CPP (ช) หมึกพิมพ์สูตรที่ 10 บนฟิล์ม CPP (ซ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 11 บนฟิล์ม CPP.....	57
4.16	ความกระด่ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 12 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) ฟิล์ม LLDPE (ข) ฟิล์มCPP.....	58
4.17	ค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์ LLDPE และ CPP ที่ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ต่าง ๆ..	58
4.18	ค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์ LLDPE และ CPP ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ.....	60
4.19	ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-12 บนสิ่งพิมพ์ LLDPE และ CPP.....	61

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพิมพ์บรรจุภัณฑ์พลาสติกนิยมใช้การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี เพราะพิมพ์ได้คมชัดและรวดเร็ว ปัจจุบันมีการให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ดังนั้น หมึกที่ใช้พิมพ์จึงมีความสำคัญต่อการพิมพ์บรรจุภัณฑ์มากขึ้นตามไปด้วย เพราะถ้าหมึกที่ใช้มีตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยได้เป็นองค์ประกอบมีผลทำให้เกิดมลภาวะได้ ทางเลือกหนึ่งในการลดมลภาวะจากการพิมพ์ คือ การใช้หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จึงปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ปัญหาการพิมพ์ด้วยหมึกระบบฐานน้ำ คือ หมึกยึดติดไม่ดีบนวัสดุพิมพ์ที่ไม่มีรูพรุน เช่น พลาสติกที่มีค่าพลังงานผิวต่ำ งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของอัตราส่วนของสารสีต่อสารยึดในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์มพอลิโอลิฟิน ได้แก่ พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นิยมใช้ในงานบรรจุภัณฑ์และมีค่าพลังงานผิวต่ำ เพื่อให้ได้สูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่สามารถพิมพ์บนพลาสติกและให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์มพอลิโอลิฟิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาผลของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู (β-copper phthalocyanine blue, C.I. Pigment Blue 15:3) ต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์มพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน โดยใช้วิธี Daniel flow point method เพื่อหาอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อน้ำที่เหมาะสมในการกระจายสารสี นำสารสีที่ผ่านการบดกระจายอนุภาคแล้วไปเตรียมเป็นหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ 4 สูตร ที่มีอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อน้ำต่าง ๆ กัน พิมพ์บนฟิล์มพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน เพื่อศึกษาผลต่อการยึดติดและคุณภาพงานพิมพ์ เลือกสูตรหมึกพิมพ์ที่มีการยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์มโอเลฟินและคุณภาพงานพิมพ์ที่ดีมาเตรียมเป็นหมึกพิมพ์อีก 8 สูตร โดยเติมสารเติมแต่ง คือ คาร์นูบาแวกซ์ ปริมาณ 0.4, 0.5 และ 0.6 กรัม สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ปริมาณ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 กรัม วัดสมบัติหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ คือ ความเป็นกรด-เบส แรงตึงผิวและ

ความหนืดหมึกพิมพ์ วัดสมบัติของสิ่งพิมพ์บนฟิล์มพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน คือ การยึดติด ความกระด้ำกระด่าง การทนต่อการขัดถู ความมันวาว ค่าสี L*a*b* และค่าความดำ สำหรับการเตรียมฟิล์มพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนก่อนนำไปใช้พิมพ์ เริ่มด้วยวัดมุมสัมผัสของน้ำและเมทิลีนไอโอไดด์ก่อนและหลังการปรับผิวหน้าฟิล์มด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ และคำนวณหาค่าพลังงานผิวจากมุมสัมผัสที่วัดได้

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

ศึกษาผลของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์มพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน โดยใช้วิธี Daniel flow point ในการหาอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการกระจายสารสี แล้วนำไปเตรียมเป็นหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อน้ำต่าง ๆ กัน สำหรับพิมพ์บนฟิล์มโอลิฟิน เพื่อศึกษาผลต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ได้

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

อัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อน้ำถูกกำหนดด้วยวิธี Daniel flow point ทำให้การเปลี่ยนอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดในขั้นตอนการเตรียมหมึกพิมพ์ทำได้จำกัด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนฟิล์มพอลิโอลิฟิน

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าข้อมูล เอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. จัดเตรียมสารเคมี และอุปกรณ์
3. เตรียมวัสดุพิมพ์
4. เตรียมหมึกพิมพ์
5. วัดสมบัติหมึกพิมพ์
6. ตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์
7. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลอง
8. เขียนวิทยานิพนธ์

1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1. เตรียมวัสดุพิมพ์ฟิล์มพอลิโอลิฟิน และปรับผิวหน้าด้วยคอโรนาดิสชาร์จ
2. เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำโดยเปลี่ยนอัตราส่วนสารสีต่อสารยึด
3. เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีปริมาณของคาร์นูบาแวกซ์และสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ
4. วัดสมบัติหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้
5. พิมพ์บนฟิล์มพอลิโอลิฟินด้วยเครื่อง IGT และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์

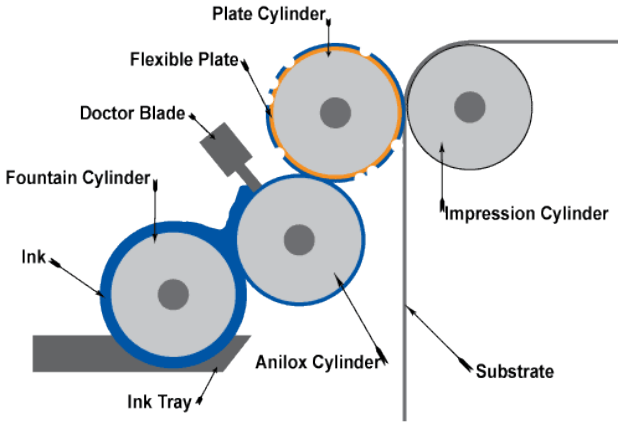
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นการพิมพ์พื้นนูน แม่พิมพ์ทำจากพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น หมึกพิมพ์จากอ่างหมึกพิมพ์ (chambered) ถ่ายโอนไปยังโมแอนนิล็อก (anilox roller) ที่พื้นผิวมีลักษณะเป็นบ่อเพื่อควบคุมปริมาณการจ่ายหมึกพิมพ์ไปยังแม่พิมพ์พอลิเมอร์ มีใบมีดปาดหมึกพิมพ์ (doctor blade) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ทำหน้าที่ปาดหมึกพิมพ์ส่วนเกินออก ความเร็วในการพิมพ์อยู่ในช่วง 7.5-10 เมตรต่อวินาที แต่งานพิมพ์ป้อนม้วนหน้าแคบ (narrow web presses) สำหรับพิมพ์ฉลากใช้ความเร็ว 3-5 เมตรต่อวินาที เนื่องจากแม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นยางมีความยืดหยุ่นทำให้สามารถพิมพ์บนวัสดุได้หลากหลาย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมงานพิมพ์ฉลากและบรรจุภัณฑ์ที่พิมพ์บนแผ่นฟิล์มพลาสติก การพิมพ์บนแผ่นฟิล์มพลาสติก ควรให้แผ่นฟิล์มที่นำมาพิมพ์มีค่าพลังงานผิว (surface energy) ประมาณ 40 มิลลินิวตันต่อเมตร ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์จึงสามารถยึดติดบนแผ่นฟิล์มพลาสติก (Kipphan, 2001; Leach และคณะ, 1988)



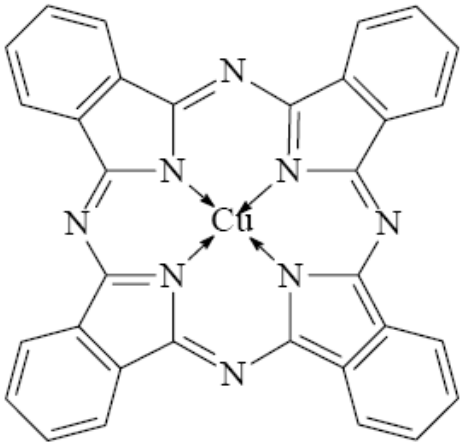
ภาพที่ 2.1 ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (American label group, 2011: ออนไลน์)

2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์ทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

2.2.1 สารให้สี (colorant)

สารให้สีในหมึกพิมพ์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ สารสี (pigment) และ สีย้อม (dye) โดยทั่วไป นิยมใช้สารสีในหมึกพิมพ์ เนื่องจากสารสีมีความคงทนต่อแสง (light fastness) มากกว่า แต่ให้ความสดของสีน้อยกว่าสีย้อม สารสีคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู (copper phthalocyanine blue) มี color index เป็น C.I. Pigment Blue 15:3 โครงสร้างทางเคมีแสดงในภาพที่ 2.2 เป็นสารสีที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรรมการพิมพ์ เพราะให้สีที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน CIE 12-66 ของยุโรป สารสีกระจายตัวได้ง่าย ความคงทนต่อแสงสูง ให้ความมันวาว ความเข้มสี (colour strength) และความโปร่งแสงของหมึกพิมพ์ที่ดี (Herbst และคณะ, 2004)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างสารสีคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู (Herbst และคณะ, 2004)

2.2.2 สารยึด (binder)

ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายสารสีและยึดติดบนวัสดุพิมพ์ เรซินที่ใช้เป็นสารยึด มีทั้งชนิดที่ได้จากธรรมชาติ เช่น โรซิน และ จากการสังเคราะห์ เช่น พอลิยูรีเทน (polyurethane) ไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) คีโทนเรซิน (ketone resin) ชนิดของเรซินที่ใช้มีผลต่อความแข็งแรง ความมันวาว การยึดติด และความยืดหยุ่นของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ (Tsirovasiles, 1986) เช่น พอลิยูรีเทนให้ความมันวาว (Podhajny, 1991) แบ่งเรซินในหมึกพิมพ์ฐานน้ำได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

ก. พอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ (water-soluble polymers) ความหนืดไม่เปลี่ยนเมื่อเปลี่ยนความเป็นกรด-เบสเล็กน้อย แต่ให้สมบัติการทนน้ำของสิ่งพิมพ์ไม่ดี

ข. อิมัลชัน/พอลิเมอร์ที่กระจายตัว (emulsion/dispersion polymers) ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ใช้ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มหมึกพิมพ์ที่แห้งตัว เช่น ทนกรด ทนด่าง ทนความร้อน การยึดติด ความยืดหยุ่น ความมันวาว แต่ค่อนข้างไม่ละลายน้ำจึงเตรียมเป็นอิมัลชัน

ค. พอลิเมอร์ที่เป็นกรดที่ละลายในด่างได้ (alkali-soluble acidic polymers) น้ำหนักโมเลกุลต่ำถึงปานกลาง เตรียมโดยละลายในด่าง แล้วใช้ในหมึกประเภท water-reducible ink (Sen, 1987)

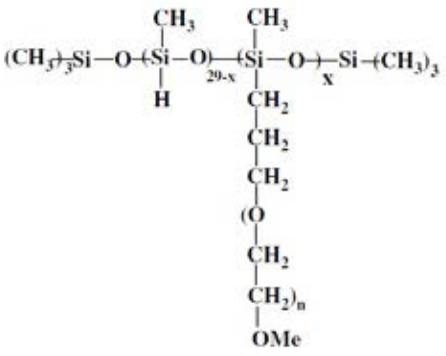
2.2.3 ตัวทำละลาย (solvent)

น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลายที่หาได้ง่าย ราคาถูก และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม แต่ไม่ยึดติดบนวัสดุพิมพ์ที่ไม่มีรูพรุนและมีค่าพลังงานผิวต่ำ เช่น พลาสติก ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารที่ระเหยได้และเป็นพิษหรือมีผลต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม

2.2.4 สารเติมแต่ง (additive)

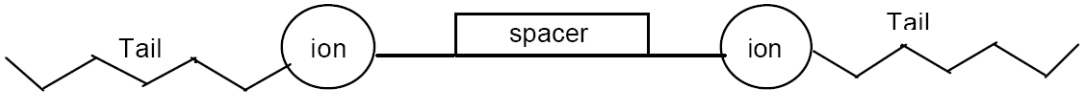
ปรับสมบัติของหมึกพิมพ์ให้ได้ตามต้องการ แต่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติหมึกพิมพ์ด้านอื่น ๆ ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารที่ใช้ เช่น ซิลิโคนช่วยเพิ่มความทนต่อการขูดขีด (scratch resistance) แต่ลดความทนต่อการขัดถูขณะเปียก (wet rub resistance) (Rentzhog, 2006) สารลดฟอง (defoamer) ใช้ลดฟองในหมึกพิมพ์ สารปรับความหนืด สารลดแรงตึงผิว

ก. สารลดแรงตึงผิวไซลอกเซนหมู่เมทิลมีค่าแรงตึงผิวต่ำ 20-21 นิวตันต่อเมตร ซึ่งต่างจากหมู่เมทิลของสารลดแรงตึงผิวทั่วไปที่มีแรงตึงผิวสูงประมาณ 30-32 นิวตันต่อเมตร (Hill, 1999) โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวไซลอกเซนดัดแปรด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล แสดงในภาพที่ 2.3 (Srividhya และคณะ, 2007) ในงานวิจัยนี้ใช้สารลดแรงตึงผิวไซลอกเซนดัดแปรพอลิอีเทอร์



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวไซลอกเซนดัดแปรด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล (Srividhya และคณะ, 2007)

สารลดแรงตึงผิวเจมินิ (gemini surfactant) ประกอบด้วยสองโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวต่อด้วย spacer มีโครงสร้างทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 2.4 ความยาวของ spacer อาจสั้นหรือยาวได้ เป็นโครงสร้างที่ยืดหยุ่นหรือแข็งเกร็งได้ เช่น สายโซ่ของเมทิลีน (methylene chain) หรือสทิลบีน (stilbene) มีขั้วหรือไม่มีขั้วก็ได้ เป็นประจุบวกหรือประจุลบ และไม่มีประจุได้ โครงสร้างไม่จำเป็นต้องสมมาตร (Sekhon, 2004) ปัจจุบันได้รับความสนใจมากในงานต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยีนาโน เทคโนโลยีชีวภาพ สารเติมแต่งในสีทาบ้าน สมบัติที่พิเศษ คือ มี surface activity สูงมากกว่าสารลดแรงตึงผิวทั่วไป



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของสารลดแรงตึงผิวเจมินิ (Sekhon, 2004)

ข. แวกซ์ มีทั้งชนิดที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ลาโนลิน คาร์นูบาแวกซ์ กับการสังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีนแวกซ์ พอลิโพรพิลีนแวกซ์ พอลิเททระฟลูโอโรเอทิลีน ในงานวิจัยนี้ใช้คาร์นูบาแวกซ์เป็นสารเติมแต่ง จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 80-86 องศาเซลเซียส (Choo, 1993)

2.3 หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ

เป็นหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำ คล้ายกับหมึกพิมพ์กราวัวร์ มีความหนืดประมาณ 0.05-0.5 พาสคาล วินาที (Pa s) หรือใช้ Zahn cups เบอร์ 2 เวลา 20-25 วินาที มีความหนาชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ประมาณ 1 ไมโครเมตร นิยมใช้ในงานพิมพ์บรรจุภัณฑ์ (Kipphan, 2001; Leach และคณะ, 1988)

การลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้หมึกพิมพ์ที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic compound) เป็นองค์ประกอบ ทำให้มีการพัฒนาเตรียมหมึกพิมพ์ฐานน้ำและฐานยูวีมากขึ้น ดังนั้น สารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรหมึกพิมพ์ฐานน้ำจึงต้องละลายน้ำได้ด้วย การเพิ่มการละลายน้ำให้สารเหล่านี้ทำได้โดยการดัดแปรโครงสร้างของสาร หรือการเตรียมให้อยู่ในรูปที่กระจายตัวในน้ำที่มีความเสถียรระดับหนึ่ง เช่น อิมัลชันของพอลิยูรีเทนที่เสถียรเมื่ออยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวเรียกว่า เฟสต่อเนื่อง (continuous phase) มีลักษณะเป็นหยดเรียกว่าเฟสไม่ต่อเนื่อง (discontinuous phase) และไม่เสถียรเมื่อหยดแพร่รวมกันเกิดเป็นหยดขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า coalescence นำไปสู่การลดลงของพื้นที่ผิว หรือเกิดการรวมกลุ่มกันของอนุภาคและตกตะกอน (Madbouly และ Otaigbe, 2009) ในงานวิจัยนี้ใช้พอลิยูรีเทนดัดแปรที่อยู่ในรูปอิมัลชัน สูตรทั่วไปของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสูตรทั่วไปของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ (Urban and Takamura, 2002)

องค์ประกอบหมึกพิมพ์	ปริมาณ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
1. pigment dispersion	35-50
2. emulsion vehicle	25-35
3. solution vehicle	10-20
4. amine neutralizer	0.5-1.5
5. wax emulsion compound	2-5
6. wax powder	0-2
7. surfactant	1-1.5
8. crosslinking additive	0.-2
9. silica additive	2-5
10. corrosion inhibitor	0-1
11. defoamer	0-1
12. other additives	0.25-0.5
รวม	100

ความหนืดของหมึกพิมพ์เป็นแรงต้านการไหลของหมึกพิมพ์ เปลี่ยนแปลงตามอัตราเฉือน (shear rate) ดังนั้น การเขียนกราฟของความหนืดกับอัตราเฉือนสามารถบอกถึงกระแสวิทยาของหมึกพิมพ์ ถ้าอัตราเฉือนเปลี่ยนแต่ความหนืดคงที่เป็นลักษณะการไหลแบบนิวโทเนียน (Newtonian flow) ถ้าอัตราเฉือนเพิ่มแล้วความหนืดเพิ่มขึ้น เป็นการไหลแบบไดแลตแทน (dilatant flow) ถ้าเพิ่มอัตราเฉือนแล้วความหนืดลดลง เป็นการไหลแบบซูโดพลาสติก (pseudoplastic flow) หรือ shear-thinning ซึ่งเป็นลักษณะการไหลของสารเคลือบและหมึกพิมพ์ (Schnall, 1987)

2.4 การกระจายสารสีด้วย ball mil

เพื่อให้ได้การเปียกผิวและการกระจายอนุภาคสารสีที่ต้องการ ต้องลดขนาดอนุภาคที่รวมกลุ่มกันให้เป็นอนุภาคเดี่ยวในตัวกลางที่เป็นของเหลว แรงที่ยึดอนุภาคเข้าไว้ด้วยกันเป็นแรง Van der Walls ขั้นแรกต้องแทนที่แก๊สที่ดูดซับอยู่ที่พื้นผิวของสารสี หรือภายในรูของสารสี ตาม

ด้วยการทำให้เปียกด้วยตัวพา (vehicle) เพื่อป้องกันการเกาะกลุ่มตกตะกอน กระบวนการกระจายอนุภาคสารสีประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ (Magruder, 1991)

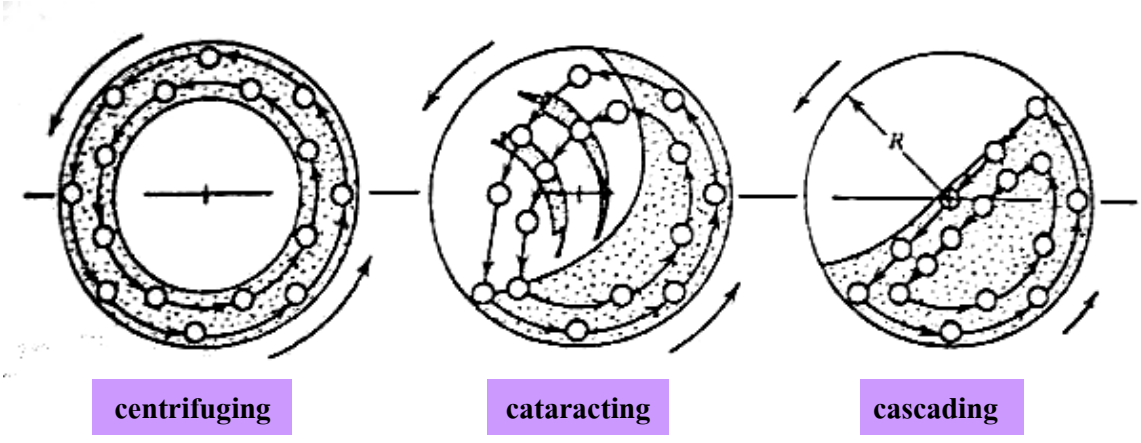
ก. การเริ่มเปียกผิว (initial wetting) การเกิดของผสมของสารสีกับตัวพา

ข. การลดขนาดอนุภาค (size reduction) เป็นการแตกอนุภาคประเภท aggregates และ agglomerates

ค. การเปียกผิว (intimate wetting) การแทนที่อากาศที่พื้นผิวของสารสี

ง. การบด (grinding) การแตกเชิงกล เช่น ใน ball mill

เมื่อสารสีมีขนาดอนุภาคเล็กสามารถให้สมบัติหมึกพิมพ์ที่ดีตามต้องการ การเตรียมหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำ เช่น หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำใช้ ball mill บดกระจายสารสี ลักษณะเป็นทรงกระบอกกลมทำจากเซรามิกหรือโลหะ ภายในบรรจุลูกบดกับสารสีและตัวพา การบดมีลักษณะการหมุน 3 แบบ คือ centrifuging, cataracting และ cascading ขึ้นกับความเร็วรอบในการหมุน ball mill ถ้าความเร็วรอบสูงไปจะเกิดการหมุนแบบ centrifuging มีลักษณะคือ ball กับ mill base หมุนเป็นวงกลมคล้ายการหมุนของเครื่องซักผ้า เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคสารสีกับลูกบดน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการบดไม่ดี ลักษณะการหมุนแบบ cataracting ลูกบดเคลื่อนที่ภายใน ball mill ทำมุมมากกว่า 60-90 องศา ก่อนตกลงมาชนกับอนุภาคสารสีทำให้เกิดการบดและแบบ cascading ลูกบดเคลื่อนที่ภายใน ball mill ทำมุมประมาณ 45-60 องศา ก่อนตกลงมาชนกับอนุภาคสารสี ซึ่งการหมุนลักษณะนี้ลูกบดกับอนุภาคสารสีชนกันได้มากที่สุด ทำให้มีประสิทธิภาพการบดที่ดี ลักษณะการหมุนต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 2.5

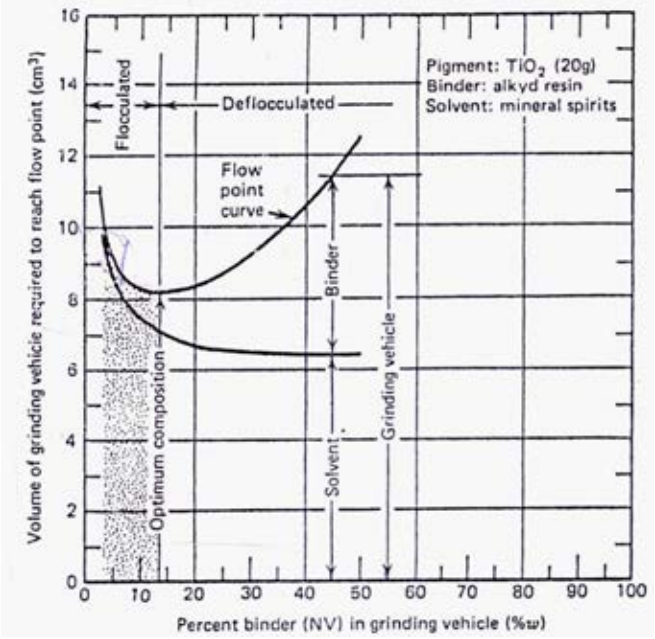


ภาพที่ 2.5 ลักษณะการหมุนแบบต่าง ๆ ของ ball mill (Patton, 1979)

ปริมาตร mill base ภายใน ball mill มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้กำลังไฟฟ้าในการบด เมื่อให้ปริมาตรอากาศเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาตร ball mill ทั้งหมด ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน มีประสิทธิภาพการใช้กำลังไฟฟ้าในการบดสูงสุด (Patton, 1979)

2.5 Daniel flow point method

เป็นวิธีการหาอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการกระจายสารสีให้มีประสิทธิภาพดี ใช้เวลาในการบดน้อยที่สุด อัตราส่วนที่เหมาะสมได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของตัวพาที่ใช้ เพื่อให้ถึงจุดที่เกิดการไหลกับปริมาณสารยึดที่กระจายตัวในตัวพา ได้เส้น flow point curve (ภาพที่ 2.6) ซึ่งจุดที่ต่ำที่สุดของเส้น คือ จุดที่มีอัตราส่วนสารสีต่อ สารยึดต่อตัวทำละลายเหมาะสมต่อการกระจายสารสี



ภาพที่ 2.6 อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำจาก Daniel flow point (Patton, 1979)

2.6 **อิทธิพลของแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์กับการพิมพ์บนฟิล์มพลาสติก**

แรงตึงผิว (Surface Tension) คือ แรงหรือพลังงานที่โมเลกุลของผิวหน้าของสารใด ๆ กระทำต่อผิวหน้าสสารนั้น ๆ เป็นตัวบอกถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัสดุรองรับกับหมึกพิมพ์ ทางการพิมพ์ ค่าพลังงานผิวของวัสดุพิมพ์ต้องมีค่ามากกว่าแรงตึงผิว (surface tension) ของหมึกพิมพ์ จึง

เกิดการเปียกผิวและสามารถพิมพ์ติดได้ ในทางทฤษฎี สำหรับหมึกพิมพ์ฐานน้ำ หมึกพิมพ์มีความสามารถในการเปียกผิวพลาสติกได้ดี เมื่อแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์เท่ากับหรือน้อยกว่าแรงตึงผิววิกฤติ (critical surface tension) ของฟิล์มประมาณ 10 นิวตันต่อตารางเมตร (mN/m) (สุดา เกียรติกำจรวงศ์ และ สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์, 2551) ถ้าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์มากกว่าพลังงานผิวของฟิล์มพลาสติกจะส่งผลให้เกิดปัญหาในการพิมพ์ คือ หมึกพิมพ์เกาะผิวหน้าพลาสติกไม่สม่ำเสมอ เกิดลักษณะของตาปลา และหมึกพิมพ์ไม่ยึดติดบนแผ่นฟิล์มพลาสติก (สุดา เกียรติกำจรวงศ์ และ สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์, 2551)

พลังงานผิวของพลาสติกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ที่เรียกว่า Young and Fowkes equation และ สมการที่ 2.2 (Srividhya และคณะ, 2007)

$$\gamma_{lv}(1+\cos\theta) = 2(\gamma^{d}_{l}\,\gamma^{d}_{s})^{1/2} + 2(\gamma^{p}_{l}\,\gamma^{p}_{s})^{1/2} \quad (2.1)$$

เมื่อ θ = contact angle

γ_{lv} = surface tension of liquid

γ^{d}_{l} = surface tension of non polar contribution of the liquid

γ^{d}_{s} = surface energy of non polar contribution of the solid

γ^{p}_{l} = surface tension of polar contribution of the liquid

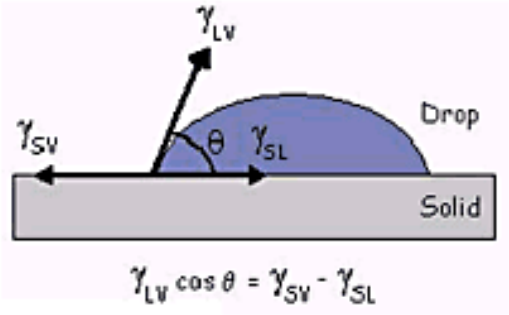
γ^{p}_{s} = surface energy of polar contribution of the solid

พลังงานผิวรวม $(\gamma) = \gamma^{p} + \gamma^{d}$ (2.2)

เมื่อ γ^{d} = the dispersion component of total surface free energy

γ^{p} = the polar force component of total surface free energy

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับแรงตึงผิวจากสมการ Young's Equation แสดงในภาพที่ 2.7

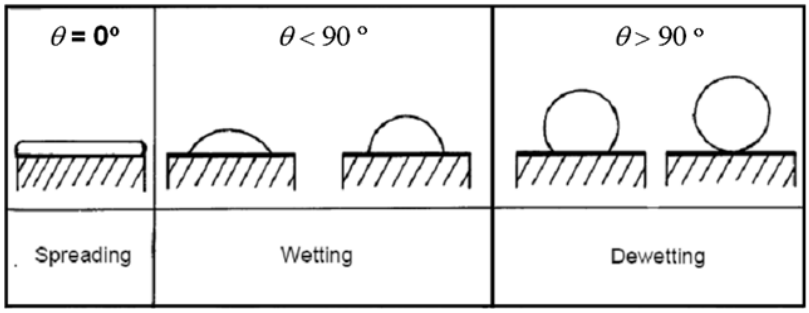


ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสกับแรงตึงผิวจากสมการ Young's Equation (American Chemical Society, 2001: ออนไลน์)

พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีเพียงพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนและคาร์บอนกับไฮโดรเจนซึ่งเป็นหมู่ที่ไม่มีขั้ว พลังงานผิวของพลาสติกประเภทนี้จึงมีค่าต่ำอยู่ในช่วงประมาณ 28-32 นิวตันต่อตารางเมตร (Medina, 1994) การปรับผิวด้วยคอโรนาสามารถเพิ่มพลังงานผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีนได้ง่ายกว่าพอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่มีขั้วจึงมีค่าพลังงานผิวมากกว่าพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน การปรับผิวพอลิไวนิลคลอไรด์สามารถให้ค่าพลังงานผิวเท่ากับ 53.8 นิวตันต่อตารางเมตร (Dumitrascu, 2000) พอลิเอทิลีนเทเรทาเลตในบรรจุภัณฑ์อาหารที่ไม่ปรับผิวและปรับผิวด้วยคอโรนามีค่าพลังงานผิวเท่ากับ 43 และ 50 นิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ (Medina, 1994) จากพลังงานผิวของพลาสติกที่มีค่าแตกต่างกันนี้ ทำให้การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำชนิดเดียวกันบนพลาสติกต่างชนิดกัน จึงมีการยึดติดและคุณภาพการพิมพ์ที่ต่างกัน

2.7 **มุมสัมผัส** (contact angle)

มุมสัมผัส คือ ค่าของมุมที่วัดจากขอบนอกสุดของหยดของเหลวกับพื้นผิวของวัสดุรองรับ ณ สภาวะสมดุลของของเหลว โดยวัดเป็นองศา มีค่าตั้งแต่ 0-180 องศา ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 มุมสัมผัสที่ระดับการเปียกผิวต่าง ๆ (The Adhesive and Sealant Council, 2010: ออนไลน์)

การวัดมุมสัมผัสใช้บอกระดับการเปียกผิวของของเหลวได้ ดังนี้

ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้

θ = 180° บอกถึง เกิดการผลักออกของหยดของเหลว (repellency)

90° < θ < 180° เกิดการเปียกผิวไม่สมบูรณ์ หรือ ไม่เปียกผิว (non-wetting)

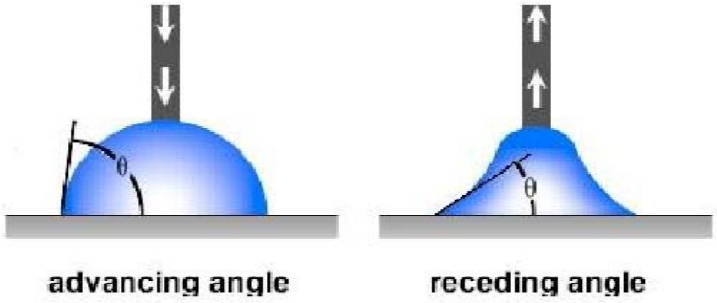
0° < θ < 90° เกิดการเปียกผิว (wetting)

θ = 0° เกิดการเปียกผิวที่สมบูรณ์และการแผ่ออกที่สมบูรณ์ (spreading)

วิธีการวัดมุมสัมผัสแบบ advancing contact angle และ receding contact angle

advancing contact angle (ภาพที่ 2.9) เป็นการวัดมุมสัมผัสในขั้นตอนการหยดสารละลายลงบนวัสดุเปรียบเสมือนขั้นตอนการลงหมึกพิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์

receding contact angle เป็นการวัดมุมสัมผัสในขั้นตอนการดูดสารละลายกลับ ทำให้มุมสัมผัสมีค่าลดลง เปรียบเสมือนขั้นตอนการพิมพ์ระหว่างที่โมผ้ายางเคลื่อนออกจากวัสดุพิมพ์ สามารถใช้วิเคราะห์ค่า trapping ได้



ภาพที่ 2.9 การวัดมุมสัมผัสแบบ advancing contact angle และ receding contact angle (rame-hart, 2011: ออนไลน์)

2.8 การปรับผิวฟิล์มพลาสติก

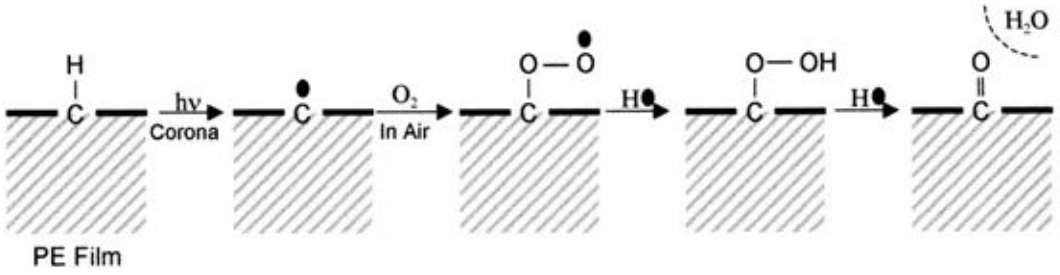
การปรับผิวฟิล์มพลาสติกทำได้หลายวิธี เช่น ใช้สารเคมี รังสียูวี อินฟราเรดเลเซอร์ เปลวไฟ พลาสมา คอโรนา (Green และคณะ, 2002) แต่ละวิธีให้ผลแตกต่างกันและขึ้นกับชนิดของพลาสติก การปรับผิวเป็นการเพิ่มค่าพลังงานผิวของพลาสติก เพราะทำให้เกิดการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ที่ไม่มีขั้ว –CH เปลี่ยนเป็นหมู่มีขั้วที่มีอะตอมของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ค่าพลังงานผิวจึงสูงขึ้น ทำให้การเปียกผิวของของเหลวที่มีขั้ว เช่น น้ำ สามารถเปียกผิวพลาสติกดีขึ้น นอกจากนี้ การปรับผิวยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของพลาสติกจากเรียบเป็นขรุขระ ส่งผลให้การยึดติดของหมึกพิมพ์ฐานน้ำบนพลาสติกดีขึ้น การปรับผิวพลาสติกเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มการยึดติดและคุณภาพการพิมพ์ของหมึกพิมพ์ฐานน้ำบนฟิล์มพลาสติก อย่างไรก็ตาม การปรับผิวบางวิธีอาจทำให้ฟิล์มพลาสติกเสียสภาพหรือสมบัติบางอย่างไปได้ เช่น การปรับผิวด้วยการฉายรังสียูวี (Matsunaga และ Whitney, 2000) ดังนั้น จึงต้องเลือกวิธีปรับผิวให้เหมาะสมด้วย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rentzhog และ Fogden (2006ก ; 2006ข) ศึกษาผลขององค์ประกอบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อคุณภาพงานพิมพ์บนพลาสติก 3 ชนิด ได้แก่ LDPE (low-density polyethylene), OPP (oriented polypropylene) และ PP (polypropylene) พบว่า ชนิดของพอลิเมอร์อิมัลชัน (emulsion polymer) มีผลต่อคุณภาพและความคงทนของสิ่งพิมพ์ ซิลิโคน (silicone) ลดความทนต่อการขัดถูขณะเปียก (wet rub resistance) แต่เพิ่มความทนต่อการขูดขีด (scratch resistance) ในขณะที่ระดับการปรับผิวด้วยคอโรนา (corona discharge) ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อคุณภาพและความคงทนของสิ่งพิมพ์ ความแตกต่างของแรงตึงผิว (surface tension) ของหมึกพิมพ์กับพลังงานผิว (surface energy) ของกระดาษเคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์สัมพันธ์กับความกระดำกระด่าง (print mottle) ของสิ่งพิมพ์ ความมีขั้วของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่ผิวหน้าวัสดุพิมพ์ลดลง ความทนต่อการขูดขีดเพิ่มขึ้น แต่ไม่สัมพันธ์กับความทนต่อการขัดถูขณะเปียก

Guthrie และคณะ (2002) ศึกษาผลของโครงร่างผลึกและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการซีดจางของสิ่งพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ และผลของขนาดอนุภาค C.I. Pigment Blue 61 ต่อการซีดจางของสิ่งพิมพ์กราวัวร์ พบว่า ขนาดอนุภาคของ สารสีที่เล็กลง ให้ความคงทนต่อแสงมากขึ้น

Matsunaga และ Whitney (2000) ศึกษาการปรับผิวฟิล์มพอลิเอทิลีนและผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า การปรับผิวด้วยคอโรนาและการฉายยูวีมีผลต่างกัน การปรับผิวด้วยคอโรนาให้มุมสัมผัสลดลงมากกว่าการฉายยูวี และยังเพิ่ม tensile strength และ elongation ในขณะที่การฉายแสงยูวีเป็นเวลานานทำให้ tensile strength และ elongation ลดลงอย่างมาก แต่เพิ่มการเปียกผิวด้วยน้ำได้เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ การปรับผิวด้วยคอโรนาทำให้พื้นผิวมีหมู่ที่มีขั้วเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.10 จึงรับน้ำได้ดี สามารถเกิดฟิล์มของน้ำคลุมบนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก เมื่ออยู่ในธรรมชาติจึงมีโอกาสย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากชั้นของน้ำที่แผ่คลุมพื้นผิว ทำให้เกิดไบโอฟิล์มและเป็นแหล่งอาหารให้เชื้อต่อไป



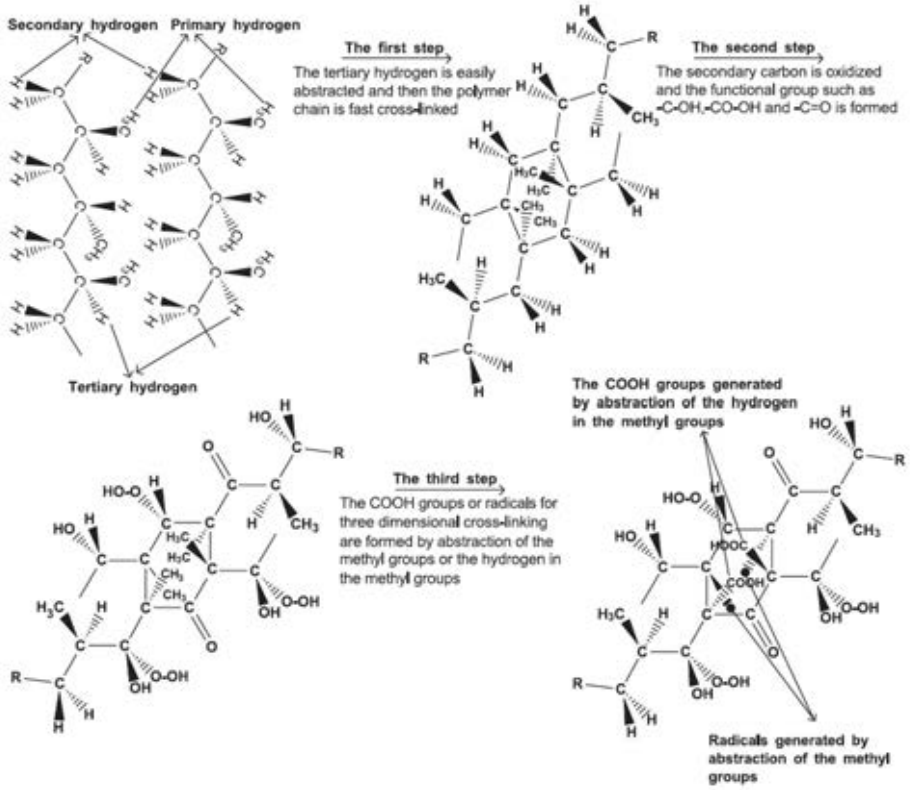
ภาพที่ 2.10 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระและตามด้วยการเกิดออกซิเดชันบนพื้นผิวของฟิล์มพอลิเอทิลีน (Matsunaga และ Whitney, 2000)

Meiron และ Saguy (2007) ศึกษาสมบัติการเปียกผิวของบรรจุภัณฑ์อาหาร พบว่า เมื่อปรับผิว LLDPE และ PET ด้วยคอโรนาดิสชาร์จ และวัดมุมสัมผัสด้วยสาร 7 ชนิด คือ น้ำ ซูโคส ไดไอโอโดมีเทน น้ำนม เอทานอล ไตรโอลีน (triolien) เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ทำให้พลังงานผิวของ LLDPE และ PET เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้รวบรวมจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ระบุว่าพลังงานผิวของ LLDPE และ PET เมื่อปรับผิวแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 28-33 และ 48-54 นิวตันต่อเมตร ตามลำดับ หลังปรับผิวค่าความขรุขระของ PET ค่อนข้างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย พลังงานผิวที่เพิ่มขึ้นเป็นผลหลักจากการเพิ่มองค์ประกอบที่มีขั้ว และเห็นได้จากค่าพลังงานผิวในส่วนองค์ประกอบที่มีขั้ว (polar components) ที่เพิ่มขึ้น

Green และคณะ (2002) ศึกษาการปรับผิวพอลิโพรพิลีนด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า ลำดับการเกิดปริมาณออกซิเจนที่พื้นผิวในรูปหมู่ที่มีขั้วจากมากไปน้อย คือ พลาสมาแบบสุญญากาศ > พลาสมาด้วยอากาศ > fluorination > เปลวไฟ > คอโรนาดิสชาร์จ แต่การปรับผิวด้วยคอโรนาดิสชาร์จให้ความขรุขระมากที่สุด มีขนาด 100 นาโนเมตร เมื่อเทียบกับวิธีปรับด้วยเปลวไฟที่มีพื้นผิวขรุขระเป็นอันดับที่ 3 แต่มีขนาดใหญ่สุด 200 นาโนเมตร พลาสมาด้วยอากาศและพลาสมา

แบบสุญญากาศให้ผลแตกต่างกันมาก พลาสมาด้วยอากาศให้ความขรุขระเป็นอันดับ 2 แต่พลาสมาแบบสุญญากาศพื้นผิวขรุขระน้อยกว่า 2 เท่า และ fluorination ให้ความขรุขระน้อยที่สุด

Kwon และคณะ (2005) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิโพรพิลีนที่ปรับผิวด้วยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ พบว่า ที่เวลาปรับผิว 90 วินาทีให้ความขรุขระมากที่สุด และการปรับผิวทำให้เกิดหมู่มีขั้วได้ตามกลไกที่แสดงในภาพที่ พลังงานผิวหลังปรับผิวมีค่าสูงสุดที่ 5 นาที เมื่อเวลาผ่านไปพลังงานผิวไม่เปลี่ยนแปลงมาก และหมู่มีขั้วที่เกิดขึ้นไม่เคลื่อนที่เพราะมีการเชื่อมขวางเกิดขึ้นบนพื้นผิว กลไกการเกิดหมู่มีขั้วแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 กลไกการเกิดหมู่มีขั้วของพอลิโพรพิลีนที่ปรับผิวด้วยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ (Kwon และคณะ, 2005)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและเครื่องแก้ว

3.1.1 บีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู (β-copper phthalocyanine blue, C.I. Pigment Blue 15:3) สีไซแอน ชื่อทางการค้า Hostaperm Blue B2G-D ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 78 นาโนเมตร ความหนาแน่น 1.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, specific surface 54 ตารางเมตรต่อกรัม, การดูดกลืนน้ำมัน (oil absorption) 50 มิลลิลิตรต่อหนึ่งร้อยกรัม จากบริษัท Clariant ประเทศไทย

3.1.2 พอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคน (silicone modified polyurethane dispersion) ที่กระจายตัวอยู่ในรูปอิมัลชัน ทำหน้าที่เป็น สารยึด มีร้อยละของของแข็งเท่ากับ 33 ความหนาแน่น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเป็นกรด-เบส 7-8 ความหนืด 200 มิลลิพาสคัล วินาที (mPa s) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากบริษัท Evonik Tego Chemie GmbH สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.3 สารลดแรงตึงผิวชนิดไซลอกเซนเจมินิ (siloxane-based gemini surfactant) ความหนาแน่น 1081 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนืด 641 มิลลิพาสคัล วินาที (mPa s) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากบริษัท Evonik Tego Chemie GmbH สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.4 สารช่วยการกระจายตัวชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ (non-ionic, modified fatty acid derivative) จากบริษัท Evonik Tego Chemie GmbH สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.5 สารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (aqueous solution of a copolymer) จากบริษัท Evonik Tego Chemie GmbH สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.6 สารทำข้นประเภทพอลิยูรีเทนที่ไม่มีประจุ (non-ionic, polyurethane-based thickener) จากบริษัท Evonik Tego Chemie GmbH สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.7 เมทิลีนไอโอไดด์ (methelene iodide) จากบริษัท Acros Oganics สหรัฐอเมริกา

3.1.8 คาร์นูบาแวกซ์ (carnauba wax) จากบริษัท Micropowder สาธารรัฐประชาชนจีน

3.1.9 น้ำปราศจากไอออน

3.1.10 อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไปในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer) รุ่น 2000 บริษัท Malvern Instruments Ltd., Worcestershire สหราชอาณาจักร

3.2.2 เครื่องทดสอบพิมพ์ IGT รุ่น F1 บริษัท Chemical house & Lab Instrument ราชอาณาจักรเนเธอร์แลนด์

3.2.3 เครื่องปรับผิวหน้าพลาสติกคอโรนาดิสชาร์จ บริษัท รุ่งไทย เคมีคอล ประเทศไทย

3.2.4 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) รุ่น Spectrum One, Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.5 Scanning Electron Microscope with EDS Attachment (SEM-EDS) รุ่น JSM-5800LV ยี่ห้อ JEOL ประเทศญี่ปุ่น

3.2.6 เครื่องวัดมุมสัมผัส (contact-angle meter) รุ่น CA-A บริษัท Face- KYOWA ประเทศญี่ปุ่น

3.2.7 เครื่องกระจายอนุภาคสารสี (ball mill) รุ่น UB-32 บริษัท Yamato scientific ประเทศญี่ปุ่น

3.2.8 เครื่องทดสอบการทนต่อการขัดถู (ink rub tester) ยี่ห้อ Sutherland รุ่น 2000 บริษัท เอช เจ อุงเคิล (เทคนิค จำกัด) ประเทศไทย

3.2.9 ภาชนะสำหรับใส่ mill base (ball mill) รุ่น A ประเทศญี่ปุ่น

3.2.10 ลูกบดเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 3.43 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.11 เครื่องวัดความมันวาว (microsheen glossmeter) รุ่น 250 บริษัท Sheen สหราชอาณาจักร

3.2.12 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น (LV)DV-III ULTRA บริษัท Brookfield engineering labs ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.13 เครื่องวัดแรงตึงผิว (Tensiometer) รุ่น K6 บริษัท Kruss สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.2.14 เครื่องสเปกโตรเดนซิโตมิเตอร์ (Spectrodensitometer) รุ่น 530 บริษัท x-rite ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.15 เครื่องชั่งรุ่น Mettler AE 260 บริษัท Deltarange สาธารณรัฐสวิตเซอร์แลนด์

3.2.16 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH/mV meter) รุ่น UB-10 บริษัท Denver instrument ultra basic สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.2.17 กล้องดิจิทัล รุ่น 60D ของบริษัท Canon ความละเอียด 18 ล้านพิกเซล ประเทศญี่ปุ่น

3.2.18 ตู้แสงมาตรฐาน D65 รุ่น PDV-2e/M ยี่ห้อ gti graphic technology ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.19 เครื่องเคลือบสารแบบอัตโนมัติ (K control coater) รุ่น K202 บริษัท RK Print Coat Instruments ประเทศสหราชอาณาจักร

3.2.20 แท่งสำหรับปาดหมึกพิมพ์ K bar เบอร์ 0 ความหนาชั้นฟิล์มขณะเปียกที่ 4 ไมโครเมตร บริษัท RK Print Coat Instruments ประเทศสหราชอาณาจักร

3.2.21 ใบมีดขีดตาราง 6 เส้น สำหรับทดสอบการยึดติด บริษัท Sheen สหราชอาณาจักร

3.2.22 เทปกาวชนิดใส (transparent tape) เบอร์ 600 ยี่ห้อ Scotch บริษัท 3M ประเทศไทย

3.2.23 กระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT Ka APPCO 2002 ยี่ห้อ APPCO บริษัท เทคโนกราฟิก ประเทศไทย

3.2.22 ฟิล์ม LLDPE (Linear low-density polyethylene) ความหนา 44 ไมโครเมตร บริษัท TPN flexpack ประเทศไทย

3.2.23 ฟิล์ม CPP (Cast Polypropylene) ความหนา 20 ไมโครเมตร บริษัท TPN flexpack ประเทศไทย

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบหมึกพิมพ์

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเคมีที่ใช้เป็นสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคน สารลดแรงตึงผิวชนิดไซลอกเซนเจมินิ และสารช่วยการกระจายตัวชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ และสารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ใช้ตัวย่อ เป็นสารช่วยการกระจายสารสี M และ สารช่วยการกระจายสารสี C ตามลำดับ ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

สารลดแรงตึงผิวชนิดไซลอกเซนเจมินิ และสารช่วยกระจายสารสี M และ C ใช้ KBr cell สำหรับสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคน ใช้ BaF_2 liquid cell (สารทุกชนิดวัดที่ resolution: 4.0 cm^{-1} number scan: 16)

3.3.2 ศึกษาผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อพลังงานผิวและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP

วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำและเมทิลีนไอโอไดด์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ก่อนการปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส วัดมุมสัมผัสแบบ advancing โดยหยดน้ำปริมาตร 15 ไมโครลิตร จากเข็มฉีดยาที่บอกปริมาตรในระดับไมโครลิตรลงบนฟิล์ม วัดค่ามุมสัมผัสทั้งด้านซ้ายและขวาของหยดน้ำ จากนั้นหยดน้ำเพิ่มเป็น 25 และ 35 ไมโครลิตร วัดมุมสัมผัสของหยดน้ำตามลำดับ นำไปหาค่าเฉลี่ย และวัดมุมสัมผัสแบบ receding โดยค่อย ๆ ดูดน้ำกลับทีละ 10 ไมโครลิตร (เริ่มวัดจาก 25, 15 และ 5 ไมโครลิตรตามลำดับ) วัดมุมสัมผัสของหยดน้ำทั้งซ้ายและขวา ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย เปลี่ยนน้ำเป็นเมทิลีนไอโอไดด์วัดมุมสัมผัสแบบ advancing และ แบบ receding ด้วยวิธีเดียวกัน นำมุมสัมผัสมาคำนวณค่าพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP จากสมการ ที่ 2.1 และ 2.2

ตัดตัวอย่างฟิล์ม LLDPE และ CPP ให้มีขนาด 5x45 เซนติเมตร ติดตัวอย่างที่ตัดได้ลงบนแผ่นอะลูมิเนียมเรียบไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น นำไปวางบนสายพานเครื่องคอโรนาดิสชาร์จ ปรับผิวหน้าตัวอย่างด้วยกำลังไฟ 0.6 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วสายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที นำฟิล์มที่ปรับผิวแล้วไปวัดมุมสัมผัสและคำนวณค่าพลังงานผิว

ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก LLDPE และ CPP โดยตัดแผ่นตัวอย่างฟิล์ม LLDPE และ CPP ก่อนและหลังการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ ขนาด 1-5 ตารางเซนติเมตร ติดลงบนฐานสำหรับติดตัวอย่าง นำไปฉาบด้วยทอง และส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope with EDS Attachment (SEM-EDS) ถ่ายภาพพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

3.3.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายต่อการกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point

ผสมตัวพา (vehicle) ที่อัตราส่วนของสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคนกับน้ำเป็น 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 โดยปริมาตร ใส่บีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู จำนวน 20 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร ค่อย ๆ หยดตัวพาที่เตรียมไว้ ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ดูลักษณะการไหลของสารให้อยู่ในช่วง 1-2 วินาที บันทึกปริมาตรของตัวพาที่ทำให้สารผสมระหว่างสารสีกับตัวพาเกิดการไหล เขียนกราฟระหว่างร้อยละของปริมาณของแข็ง (% solid content) ในสารยึดกับปริมาตรของตัวพาที่ทำให้เกิดการไหล

เลือกอัตราส่วนสารสี สารยึด และตัวทำละลายที่เหมาะสมไปบดด้วยเครื่อง ball mill ใส่ลูกบดเซรามิก 60 กรัม ตั้งความเร็วรอบเบอร์ 4 ประมาณ 400 รอบต่อนาที วัดขนาดอนุภาคสารสีที่เวลาบดกระจายสารสีทุก 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Mastersizer จนสารสีมีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมโครเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.4 ศึกษาผลของสารช่วยกระจายสารสีต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสารสี

กำหนดให้ สารช่วยกระจายสารสี M แทนสารช่วยการกระจายตัวชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ และสารช่วยกระจายสารสี C แทน สารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เตรียมกระจายสารสี 3 สูตร (ปริมาตรสารที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.1) นำไปบดด้วยเครื่อง ball mill จนได้ขนาดอนุภาคสารสีน้อยกว่า 5 ไมโครเมตร บันทึกขนาดอนุภาคที่ได้ และเวลาที่ใช้ในการกระจายสารสี ทำซ้ำ 3 ครั้ง ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ ดูการตกตะกอน เลือกสูตรที่ใช้เวลาในการกระจายสารสีน้อยที่สุดและไม่เกิดการตกตะกอนมาเตรียมเป็นหมึกพิมพ์

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกระจายสารสีสูตร A, B และ C

สารเคมีที่ใช้กระจายสารสี (กรัม)	สูตร A	สูตร B	สูตร C
สารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู	27	27	27
สารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคน	45	45	45
น้ำ	45	45	45
สารช่วยกระจายสารสี M	-	1.8	-
สารช่วยกระจายสารสี C	-	-	2.2

3.3.5 ศึกษาผลของสัดส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลาย ต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนฟิล์ม LLDPE และ CPP

นำสารสีที่ผ่านการบดด้วยอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดจากวิธี Daniel flow point มาเตรียมหมึกพิมพ์ใช้พอลิยูริเทนดัดแปรซิลิโคนเป็นสารยึด ใช้สัดส่วนสารสีต่อสารยึด 1:0.79, 1:0.95, 1:1.05 และ1:1.66 โดยร้อยละของของแข็ง เติมสารทำข้น (thickener) องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 3.2 นำหมึกที่เตรียมได้ไปวัดสมบัติหมึกพิมพ์

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4

หมึกพิมพ์สูตรที่	สัดส่วนสารสีต่อสารยึด (โดยร้อยละของของแข็ง)	องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ (โดยน้ำหนัก)		
		สารสีที่กระจายตัวในตัวพา (กรัม)	สารยึด (กรัม)	สารทำข้น (กรัม)
1	1:0.79	80	10	1
2	1:0.95	80	21	1
3	1:1.05	80	28	1
4	1:1.66	80	40	1

พิมพ์ทดสอบหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง IGT รุ่น F1 ประกอบโมแอนิล็อกความละเอียด 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร โมแม่พิมพ์ และใบมีดปาดหมึกพิมพ์เข้ากับเครื่องพิมพ์ ติดวัสดุใช้พิมพ์แผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP บนแผ่นรอง ตั้งแรงกดระหว่างโมแอนิล็อกกับแม่พิมพ์ 100 นิวตัน ใช้แรงกดระหว่างแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์ 450 นิวตัน เมื่อพิมพ์เสร็จ ทิ้งให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แห้งประมาณ 16 ชั่วโมง นำไปทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์เรื่องความกระด้างกระด่าง ค่าสี L*a*b* ค่าความดำ ความมันวาว การทนต่อการขัดถู และการยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP

3.5.1.1 การวัดสมบัติหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4

3.3.5.1.1 วัดความหนืดหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง brookfleid viscometer

วัดความหนืดหมึกพิมพ์ด้วยเข็ม (spindle) เบอร์ 34 ที่อุณหภูมิตัวอย่าง 25 องศาเซลเซียส วัดความเร็วรอบที่ 0 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากนั้นลดความเร็วรอบลงเป็น 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 และ 0 รอบต่อนาที ตามลำดับ บันทึกค่า อุณหภูมิ ความหนืด ความเค้นเฉือน กับอัตราเฉือน และความเร็วรอบ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือน โดยใช้สเกลล็อก

3.3.5.1.2 วัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH/mV meter

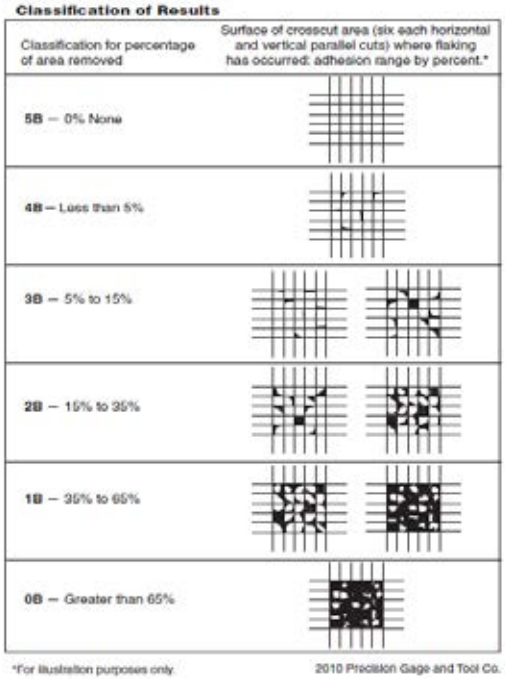
ทำความสะอาดอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด จุ่มอิเล็กโทรดลงในหมึกพิมพ์ รอจนค่าตัวเลขคงที่ บันทึกค่าที่อ่านได้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.5.1.3 วัดแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง tensiometer

เทหมึกพิมพ์ลงในบีกเกอร์ให้มีปริมาตรประมาณ 3 ส่วน 4 ของบีกเกอร์ จุ่ม dunouy ring ลงในหมึกพิมพ์ ตั้งแรงดึง dunouy ring ของเครื่องไปที่ศูนย์ จากนั้นค่อยๆ เพิ่มแรงดึง dunouy ring จน dunouy ring พ้นและแยกตัวออกจากผิวหน้าหมึกพิมพ์ บันทึกผล วัดแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.5.2 การตรวจสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์

3.3.5.2.1 ทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์มด้วยวิธี cross-cut tape test ตามมาตรฐาน ASTM D3359-09 (ASTM D3359-09, 2009) ใช้ใบมีดวาดเส้นตารางแนวตั้งและแนวนอนอย่างละ 6 เส้น แต่ละเส้นห่างกันประมาณ 0.5 มิลลิเมตร บนแผ่นฟิล์ม ใช้เทปกาวใสเบอร์ 600 ความกว้าง 25 มิลลิเมตร ตัดเทปยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร ติดบนชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่ต้องการทดสอบพยายามติดให้มีฟองอากาศน้อยที่สุด ดึงเทปออกด้วยมือทำมุม 180 องศา ภายในเวลา 90 ±30 วินาที นำเทปกาวมาติดบนกระดาษขาวแล้วเทียบกับ รูปที่ 3.1 เพื่อดูร้อยละของการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์



รูปที่ 3.1 ลักษณะของร้อยละการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ (ASTM D3359-09, 2009)

3.3.5.2.2 ความกระด่ำกระด่าง (mottle) ของสิ่งพิมพ์ ตรวจดูบริเวณที่พิมพ์ด้วยความละเอียดโมแอนนิลอกต่าง ๆ ด้วยตาและบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัล

3.3.5.2.3 วัดค่าสี L*a*b* ด้วยเครื่องสเปกโตรเดนซิโตมิเตอร์ ปรับตั้งเครื่องวัดสีโดยใช้ geometry 0/45, illuminant D50, 2° observer วัดค่าสีบนพื้นสีขาว และวัดค่าแบบ L*a*b* นำหัววัดวางบนสิ่งพิมพ์บริเวณที่พิมพ์ด้วยความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร วัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง

3.3.5.2.4 วัดค่าความดำของสิ่งพิมพ์ด้วยเครื่องสเปกโตรเดนซิโตมิเตอร์ ปรับตั้งเครื่องวัดสีโดยใช้ geometry 0/45, illuminant D50, 2° observer วัดค่าสีบนพื้นสีขาว วัดค่าความดำของสิ่งพิมพ์บนบริเวณที่พิมพ์ด้วยความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร วัดค่าความดำตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง

3.3.5.2.5 วัดค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์ด้วยเครื่อง glossmeter ปาดหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง RK control coater ใช้ K-bar เบอร์ 0 พื้นที่ประมาณ 150 X 100 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 16 ชั่วโมง วัดค่าความมันวาวบนวัสดุผิวเรียบด้านให้มีค่าความมันวาวเท่ากับ 0 และวัดความมันวาวบนแผ่นกระจกดำทึบแสงให้ได้ค่าความมันวาวตามมาตรฐานที่แผ่นทดสอบกำหนดไว้ วัดความมันวาวที่ geometry 20, 60 และ 85 องศา เพื่อเลือกหัววัดที่เหมาะสมกับพื้นผิวที่ต้องการวัด ตามมาตรฐาน ISO 2813 (ISO 2813, 1994) ถ้าวัดด้วย geometry 60 องศา แล้วให้ค่าความมันวาวมากกว่า 70 ให้เปลี่ยนหัววัดเป็น geometry 20 องศา ถ้าวัดด้วย geometry 60 องศา แล้วให้ค่าความมันวาวน้อยกว่า 10 ให้เปลี่ยนหัววัดเป็น geometry 85 องศา เมื่อเลือกหัววัดที่เหมาะสมแล้ว วัดความมันวาวตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง บันทึกผล

3.3.5.2.6 ทดสอบการทนต่อการขัดถู ด้วยเครื่อง ink rub tester ขนาดตัวอย่าง 2x7 นิ้ว ใช้ความเร็วเครื่องระดับ 4 น้ำหนักทดสอบ 4 ปอนด์ ถูไปกลับจำนวน 10 รอบ (ASTM D5264, 2004)

3.3.6 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการทนต่อการขัดถู และสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์ และคุณภาพสิ่งพิมพ์

เติมคาร์นูบาแวกซ์ และสารลดแรงตึงผิวปริมาณต่าง ๆ ลงในสูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ให้คุณภาพงานพิมพ์และการยึดติดที่ดีจากหัวข้อ 3.3.4 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 5-11 แสดงในตารางที่ 3.3 วัดสมบัติของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ ทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่อง IGT และทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีคาร์นูบาแวกซ์ และสารลดแรงตึงผิวสูตรที่ 5-12

หมึกพิมพ์สูตรที่	องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ (%โดยน้ำหนัก)					
	สารสี	สารยึด	น้ำ	สารเพิ่มความหนืด	คาร์นูบาแวกซ์	สารลดแรงตึงผิว
5	18.00	50.56	29.99	1.07	0.40	-
6	17.98	50.51	29.96	1.06	0.50	-
7	17.96	50.46	29.93	1.06	0.60	-
8	18.00	50.56	29.99	1.07	-	0.40
9	17.96	50.46	29.93	1.06	-	0.60
10	17.93	50.36	29.87	1.06	-	0.79
11	17.89	50.26	29.81	1.06	-	0.99
12	17.89	50.26	29.81	1.06	0.60	0.40

เลือกปริมาณคาร์นูบาแวกซ์และสารลดแรงตึงผิวที่ให้การยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ดี เตรียมเป็นหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 12 วัดสมบัติหมึกพิมพ์และทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์

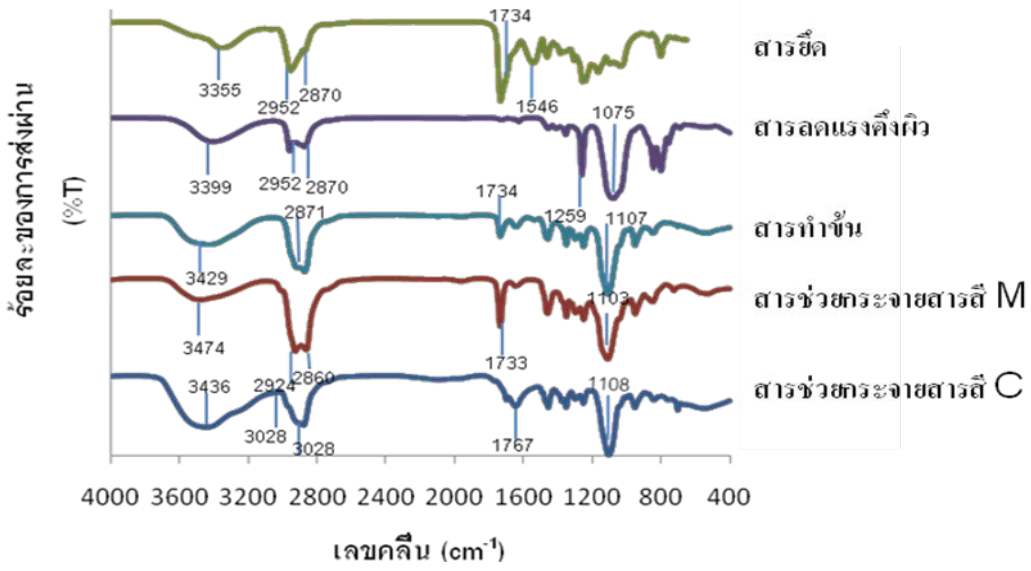
3.3.7 วิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลอง

3.3.8 เขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบหมึกพิมพ์



ภาพที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของสารยึด สารลดแรงตึงผิว สารทำข้น และสารช่วยกระจายสารสี M และ C

สารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนที่กระจายตัวอยู่ในรูปอิมัลชัน มีไดโพรพิลีนไกลคอลไดเมทิลอีเทอร์ (dipropylene glycol dimethyl ether) และน้ำเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วน 5 ต่อ 60 เมื่อไปวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบพีกที่ตำแหน่ง 3355 cm^{-1} แสดงถึง -O-H stretching และ -N-H stretching และพีกที่ 2952 และ 2870 cm^{-1} ของ -C-H stretching และ 1734 แสดงถึง –C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ และที่ 1546 cm^{-1} ของ -N-H (amide II) (Gudim และ Klimenko, 1974 : ออนไลน์)

FT-IR spectrum ของสารลดแรงตึงผิวชนิดไซลอกเซนเจมินิ พบพีกที่ตำแหน่ง 3399 cm^{-1} ของ -O-H stretching และพีกที่ 2952 และ 2870 cm^{-1} ของ -C-H stretching และยังพบพีกที่ 1259 cm^{-1} แสดงถึง –Si-CH_3 และพีกที่มีความเข้มมากที่ 1075 cm^{-1} แสดงถึง –Si-O-Si stretching (Pretsch และคณะ, 2009)

FT-IR spectrum ของสารทำข้นฐานพอลิยูรีเทนไม่มีประจุ พบพีกที่ตำแหน่ง 3429 cm^{-1} แสดงถึง –O-H stretching และพีกที่ 2871 cm^{-1} ของ -C-H stretching และ พีกที่มีความเข้มต่ำที่ 1734 cm^{-1} แสดงถึง –C=O stretching ของ หมู่เอสเทอร์ และยังพบพีกที่มีความเข้มมากที่ 1107 cm^{-1} ของ –CO-O- stretching

สารช่วยการกระจายตัวชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ (modified fatty acid derivative) ให้ชื่อย่อว่า สารช่วยการกระจายตัว M ไม่มีแอโรแมติก แอมีน และ แอลคิลฟีนอลเอทอกซีเลต (alkylphenolethoxylate) เมื่อไปวิเคราะห์ด้วย FT-IR พบพีกที่ตำแหน่ง 3474 cm^{-1} แสดงถึง –O-H stretching และพีกที่มีความเข้มมากที่ 2924 และ 2860 cm^{-1} ของ -C-H stretching และ พีกที่มีความเข้มปานกลางที่ 1733 cm^{-1} แสดงถึง –C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ และยังพบพีกที่มีความเข้มมากที่ 1108 cm^{-1} ของ –CO-O- stretching

FTIR spectrum สารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ให้ชื่อย่อว่า สารช่วยการกระจายตัว C พบพีกที่ตำแหน่ง 3436 และ 3028 cm^{-1} แสดงถึง –O-H stretching และ =C-H stretching พีกที่ 2905 และ 2876 cm^{-1} ของ -C-H stretching และพีกที่มีความเข้มต่ำที่ 1767 cm^{-1} แสดงถึง –C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ และยังพบพีกที่มีความเข้มมากที่ 1103 cm^{-1} แสดงถึง –CO-O- stretching stretching

4.2 ผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อพลังงานผิวและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP

มุมสัมผัสของน้ำและเมทิลีนไอโอไดด์ที่วัดแบบ advancing และ receding ของฟิล์ม LLDPE และ CPP ก่อนและหลังการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อมุมสัมผัสของน้ำกับเมทิลีนไอโอไดด์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

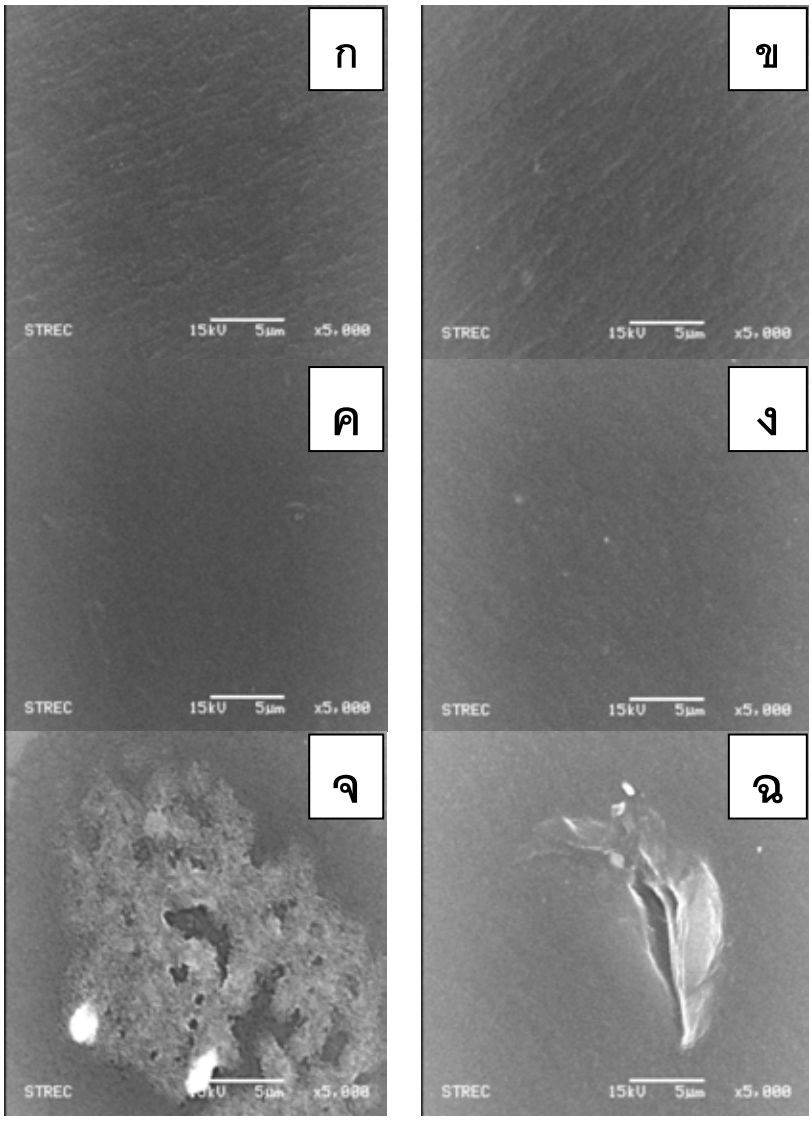
สภาวะของฟิล์ม	ชนิดฟิล์ม	มุมสัมผัสของน้ำ (องศา)		มุมสัมผัสของเมทิลีนไอโอไดด์ (องศา)	
		Advancing	Receding	Advancing	Receding
ก่อนปรับผิวหน้า	LLDPE	83.7±2.7	55.7±12.3	43.0±5.1	28.7±2.7
	CPP	77.7±1.6	71.8±3.0	44.6±7.0	46.1±4.6
หลังปรับผิวหน้า	LLDPE	62.9±2.7	53.7±4.4	41.6±4.0	35.2±3.8
	CPP	70.9±4.6	61.3±7.5	47.6±5.0	36.7±8.7

จากตารางที่ 4.1 มุมสัมผัสของน้ำและเมทิลีนไอโอไดด์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE ก่อนและหลังการปรับผิวที่วัดแบบ advancing มีค่ามากกว่าที่วัดแบบ receding ในขณะที่ค่ามุมสัมผัสของเมทิลีนไอโอไดด์ที่วัดแบบ advancing บน CPP ก่อนปรับผิว มีค่าน้อยกว่าแบบ receding เล็กน้อย มุมสัมผัสแบบ advancing เปรียบเสมือนขั้นตอนที่หยดหมึกสัมผัสกับวัสดุที่ใช้พิมพ์ ส่วนมุมสัมผัสแบบ receding เปรียบเสมือนขั้นตอนการพิมพ์ระหว่างที่โมผ้ายางเคลื่อนออกจากวัสดุพิมพ์ เมื่อนำค่ามุมสัมผัส advancing มาคำนวณหาพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP พบว่า ค่าพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP หลังการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จที่คำนวณจากมุมสัมผัสแบบ advancing มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 38.0 เป็น 43.8 มิลลินิวตันต่อเมตร (เพิ่มขึ้น 5.8 มิลลินิวตันต่อเมตร) ผลสอดคล้องกับรายงานว่า คอโรนาดิสชาร์จสามารถเพิ่มพลังงานผิวให้ฟิล์มโอลิฟินได้ 5-20 มิลลินิวตันต่อเมตร ขึ้นกับระดับการปรับผิว (Sisson และคณะ 2000) ในขณะที่ค่าพลังงานผิวของ CPP หลังการปรับผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 37.8 เป็น 38.5 มิลลินิวตันต่อเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ค่าพลังงานผิวที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการปรับผิวด้วยคอโรนาทำให้ หมู่ –CH ของ LLDPE เปลี่ยนเป็น หมู่ที่มีขั้ว เช่น หมู่ –OH, -C=O และ/หรือ –COOH (Matsunaga และ Whitney, 2000; สุดา เกียรติกำจรวงศ์ และ สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ , 2551) ค่าพลังงานผิวของทั้ง LLDPE และ CPP ก่อนปรับผิวมีค่า 38.0 และ 37.8 มิลลินิวตันต่อเมตร แสดงว่า มีการปรับผิวฟิล์มมาแล้วจากบริษัท เพราะค่าพลังงานผิวของฟิล์มที่ยังไม่ผ่านการปรับผิวมีค่าอยู่ในช่วง 28-32 มิลลินิวตันต่อเมตร (Medina, 1994)

ตารางที่ 4.2 ค่าพลังงานผิวบนฟิล์ม LLDPE และ CPP ก่อนและหลังการปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ

สภาวะของฟิล์ม	**ชนิดฟิล์มพลาสติก**	**ค่าพลังงานผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร)**					
		Advancing			Receding		
		γ_d	γ_p	γ_{total}	γ_d	γ_p	γ_{total}
ก่อนปรับผิวหน้า	LLDPE	34.8	3.2	38.0	32.6	18.0	50.6
	CPP	31.5	6.3	37.8	28.5	10.2	38.7
หลังปรับผิวหน้า	LLDPE	28.3	15.6	43.9	28.9	21.2	50.1
	CPP	27.2	11.2	38.4	30.5	15.5	46.0



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 5000 เท่าของฟิล์ม LLDPE และ CPP: ฟิล์ม LLDPE ก่อนปรับผิว (ข) แผ่นฟิล์ม LLDPE หลังปรับผิว (ค) ฟิล์ม CPP ก่อนปรับผิว (ง) ฟิล์ม CPP หลังปรับผิว (จ) ฟิล์ม CPP หลังปรับผิวที่ผิวหน้าถูกทำลายแบบที่ 1 (ฉ) ฟิล์ม CPP หลังปรับผิวที่ผิวหน้าถูกทำลายแบบที่ 2

ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope with EDS Attachment (SEM-EDS) แสดงในภาพที่ 4.2 พบว่า พื้นผิวของฟิล์ม LLDPE ก่อนการปรับผิวมีลักษณะเป็นร่องขรุขระ (ภาพที่ 4.2 ก) เมื่อปรับผิวแล้วมีลักษณะเป็นร่องขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 4.2 ข) ในขณะที่ฟิล์ม CPP ก่อนปรับผิวมีลักษณะพื้นผิวเรียบ แต่เมื่อปรับผิวแล้วมีลักษณะขรุขระเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ค และ ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยัง

พบว่า พื้นผิวของฟิล์ม CPP ในบางตำแหน่งมีลักษณะแตกเป็นหย่อม ๆ และแตกเป็นรอยลึกลงไปในชั้นฟิล์ม ดังภาพที่ 4.2 จ และ ฉ ตามลำดับ

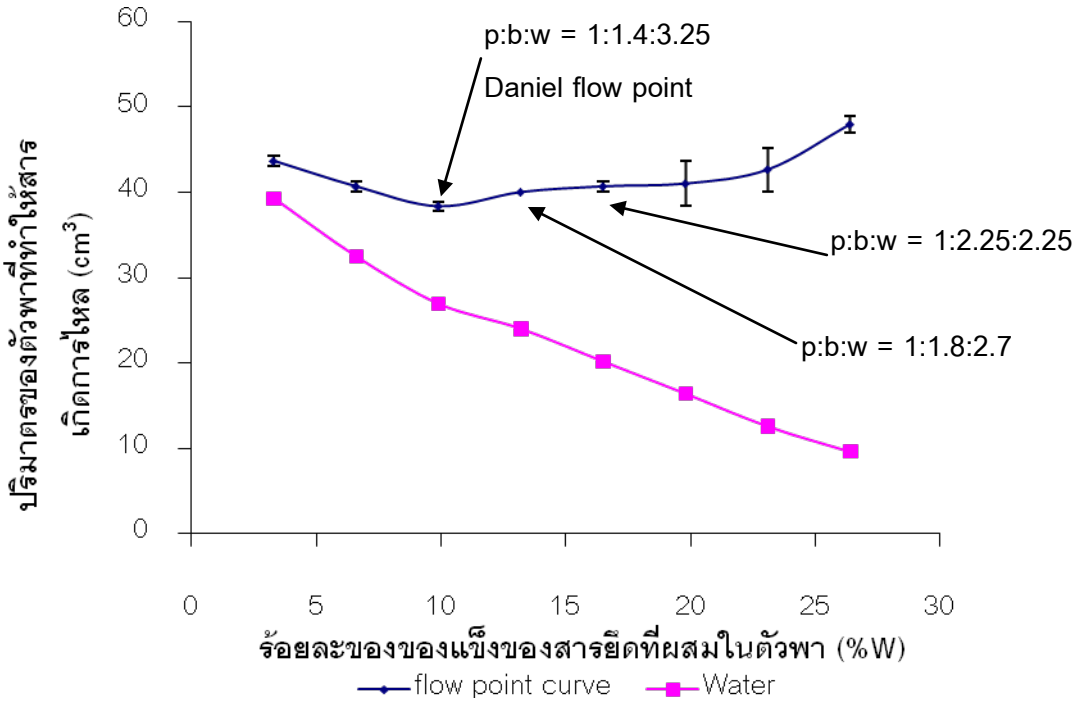
เนื่องจาก CPP มีหมู่ $-CH_3$ อยู่ในสายโซ่ ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงเป็นหมู่ที่มีขั้วได้ยาก การปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จที่กำลังไฟสูงอาจทำให้เกิดการตัดสายโซ่ และทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง (Rentzhog, 2006) การปรับผิวเพื่อเพิ่มพลังงานผิวจึงทำได้ยากกว่า LLDPE วิธีที่นิยมใช้ปรับผิวฟิล์ม PP เพื่อให้มีขั้วมากขึ้นจึงเป็นการปรับผิวด้วยพลาสมามากกว่าคอโรนาดิสชาร์จ (Kwon และคณะ, 2005) ดังนั้น การปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จทำให้พื้นผิวฟิล์ม LLDPE และ CPP มีค่าพลังงานผิวเพิ่มขึ้น และมีความขรุขระเพิ่มขึ้นด้วย

4.3 ผลการหาอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายเพื่อเตรียมกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point

การเตรียมกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point เป็นการหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่เหมาะสมของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ (p:b:w) เพื่อให้สามารถกระจายสารสีได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการบดน้อยที่สุด ปริมาตรของสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนต่อน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการไหลของของผสมสารสีแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3 พบว่าที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารยึดต่อน้ำเท่ากับ 30:70 หรือที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ 1:1.4:3.25 ใช้ปริมาตรของตัวพาน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการไหล จึงใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารยึดต่อน้ำ 30:70 ในการเตรียมกระจายสารสีในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของสารยึดพอลิยูรีเทนต่อน้ำที่ทำให้เกิดการไหลจากวิธี Daniel flow point

อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารยึดต่อน้ำ	ปริมาณ (กรัม)		ร้อยละของแข็งในสารยึด (%)	ปริมาตรของของเหลวผสมระหว่างสารยึดและน้ำที่ทำให้เกิดการไหล (ลูกบาศก์เซนติเมตร)			
	สารยึด	น้ำ		วัดครั้งที่ 1	2	3	ค่าเฉลี่ย
10:90	4.4	39.3	3.3	44	43	44	44±0.6
20:80	8.2	32.5	6.6	41	41	40	41±0.6
30:70	11.4	26.9	9.9	38	39	38	38±0.6
40:60	16.0	24.0	13.2	40	40	40	40±0.0
50:50	20.5	20.2	16.5	40	41	41	41±0.6
60:40	24.6	16.4	19.8	38	42	43	41±2.7
70:30	30.1	12.6	23.1	40	45	43	43±2.5
80:20	38.4	9.6	26.4	48	47	49	48±1.0



ภาพที่ 4.3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนต่อน้ำที่ทำให้เกิดการไหลจากวิธี Daniel flow point

เนื่องจากปริมาตรที่ทำให้สารสีในตัวพาเกิดการไหลเมื่อใช้ตัวพาที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารยึดต่อน้ำมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารยึดต่อน้ำที่มีปริมาณสารยึดเพิ่มขึ้นอีก 2 อัตราส่วน คือ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารยึดต่อน้ำ 40:60 และ 50:50 คิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ 1:1.8:2.7 และ 1:2.25:2.25 ตามลำดับ นำอัตราส่วนดังกล่าวมากระจายสารสี วัดขนาดอนุภาคสารสีทุก 1 ชั่วโมง จนครบ 4 ชั่วโมง ขนาดของอนุภาคสารสีเมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารสีต่อสารยึดต่อน้ำต่างกันที่เวลาบดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ขนาดของอนุภาคสารสีเมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารสีต่อสารยึดต่อ น้ำต่างกันที่เวลาบดต่าง ๆ

เวลาบดสารสี (ชั่วโมง)	**ขนาดของอนุภาคสารสี (ไมโครเมตร)**		
	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ		
	1:1.4:3.25	1:1.8:2.7	1:2.25:2.25
0	123.6	163.5	129.4
1	9.1	7.1	6.4
2	6.4	5.0	5.3
3	2.6	2.0	1.9
4	2.2	1.6	1.7

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ 1:1.4:3.25 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาตรของตัวพาน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการไหล ที่เวลากระจายสารสีที่เท่ากันอนุภาคสารสีมีขนาดใหญ่กว่า ที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ 1:1.8:2.7 และ 1:2.25:2.25 ใช้เวลาในการกระจายสารสีอย่างไรก็ตาม ปริมาณของสารยึดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ที่เวลากระจายสารสีที่เท่ากัน อนุภาคสารสีมีขนาดเล็กลง เนื่องจากปริมาณของสารยึดที่เพิ่มขึ้นทำให้การเปียกผิวสารสีดีขึ้น สารสีจึงกระจายตัวได้ดีขึ้นไม่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ 1:2.25:2.25 มากระจายสารสีเพื่อใช้เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำในการทดลองต่อไป

4.4 ศึกษาผลของสารช่วยกระจายสารสีต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสารสี

ผลของการเตรียมกระจายสารสีด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำ 1:2.25:2.25 ที่ไม่ใส่และใส่สารช่วยกระจายสารสี 2 ชนิด คือ สารช่วยการกระจายตัวชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ และสารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ในสูตร A สูตร B และสูตร C ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคสารสีที่กระจายตัวด้วยสูตร A, B และ C ที่เวลาบดต่าง ๆ

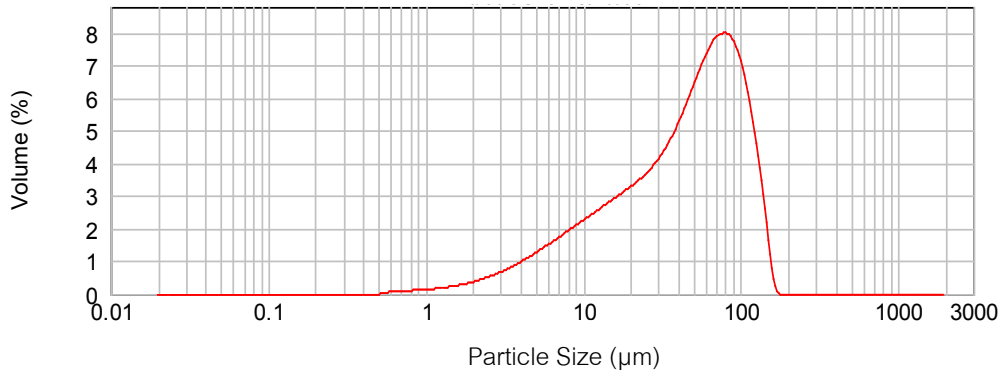
เวลาบดสะสม (ชั่วโมง)	**ขนาดอนุภาคสารสีเฉลี่ย (ไมโครเมตร)**		
	สูตร A	**สูตร B**	**สูตร C**
0	130.1±7.8	133.6±4.0	134.9±14.4
1	8.9±1.3	7.9±1.1	7.9±2.9
2	6.3±0.9	3.9±0.6	4.9±0.8
3	4.7±0.2	-	-

จากตารางที่ 4.5 พบว่า สูตร A ที่ไม่มีสารช่วยกระจายสารสีใช้เวลาในการกระจายสารสีนาน 3 ชั่วโมง ให้อนุภาคขนาดเฉลี่ย 4.7±0.2 ไมโครเมตร ในขณะที่ สูตร B ที่มีสารช่วยกระจายสารสีชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ และสูตร C ที่มีสารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมงในการกระจายสารสีให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร แสดงว่า สารช่วยกระจายสารสีมีผลทำให้เวลากระจายตัวสารสีลดลง เมื่อตั้งสูตร B และ C ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า สูตร B สารสีมีขนาดอนุภาคลดลง แต่สูตร C กลับมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นและมีตะกอนของสารสีที่ก้นภาชนะ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก สารช่วยการกระจายตัวชนิดโคพอลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายมีข้วมากกว่าสารช่วยกระจายสารสีชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ จึงไม่เสถียรเมื่ออยู่ในระบบทำให้เกิดการตกตะกอนของสารสีขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น จึงเลือกใช้สารช่วยกระจายสารสีชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุ ในการกระจายสารสี และใช้อัตราส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อน้ำต่อสารช่วยกระจายสารสี 1:2.25:2.25:0.065 โดยน้ำหนักมาเตรียมกระจายสารสีเพื่อเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำต่อไป

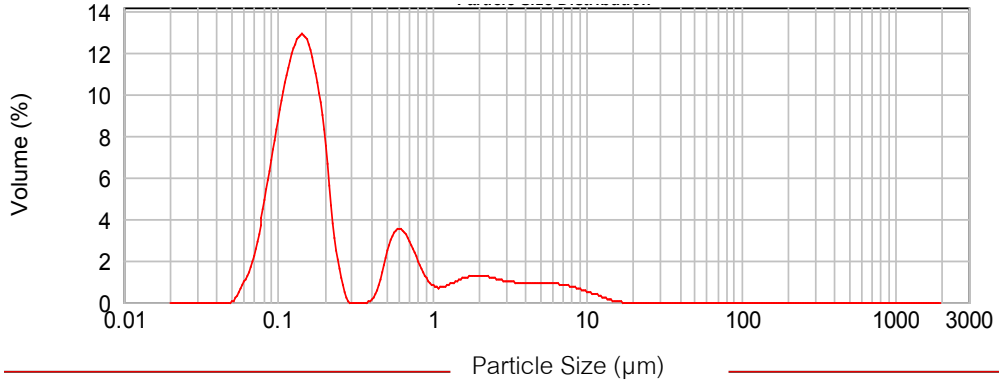
ผลของเวลากระจายสารสีต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสารสีแสดงในตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.4 พบว่า ก่อนกระจายสารสีอนุภาคสารสีส่วนมากมีขนาดใหญ่ เนื่องจากสารสีเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน จากขนาดที่ระบุไว้ 78 นาโนเมตร จึงมีขนาดใหญ่ถึง 300-500 ไมโครเมตร แต่การกระจายตัวเป็นพีกเดียวแต่กว้างและค่อนไปทางอนุภาคขนาดใหญ่ (ภาพที่ 4.4 ก) เมื่อนำสารสีไปบดกระจายตัวทำให้ตัวพาเปียกผิวสารสีและเกิดการแยกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อใช้เวลาบดกระจายสารสีนานขึ้น อนุภาคสารสีมีขนาดเล็กลง จนขนาดอนุภาคทั้งหมดของสารสี (ร้อยละ 100) มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 5 ไมโครเมตร เมื่อใช้เวลาบดกระจายสารสี 12 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4.4 จ แต่การกระจายตัวของสารสีที่ได้มีหลายพีก โดยส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมากกว่า 1 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.6 ขนาดอนุภาคสารสีที่เวลาบดต่าง ๆ ของการกระจายสารสีสำหรับเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ

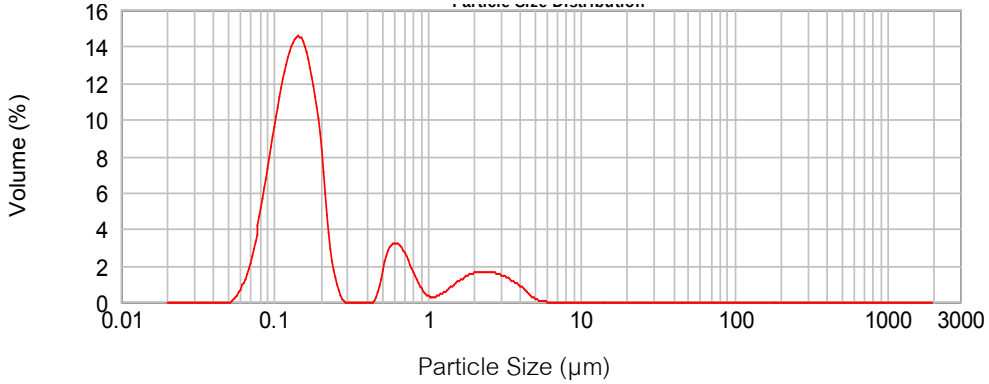
เวลาในการบดสะสม (ชม.)	**ขนาดอนุภาคที่น้อยกว่า 5 ไมโครเมตร (100%) (ไมโครเมตร)**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0	302.6±23.5	516.5±226.3	289.9±226.0
3	15.9±1.3	9.0±1.4	34.8±39.0
6	12.4±5.4	10.5±6.0	6.4±1.1
9	26.4±29.6	6.3±0.5	7.5±2.3
12	4.0±0.3	4.6±0.4	3.8±0.0



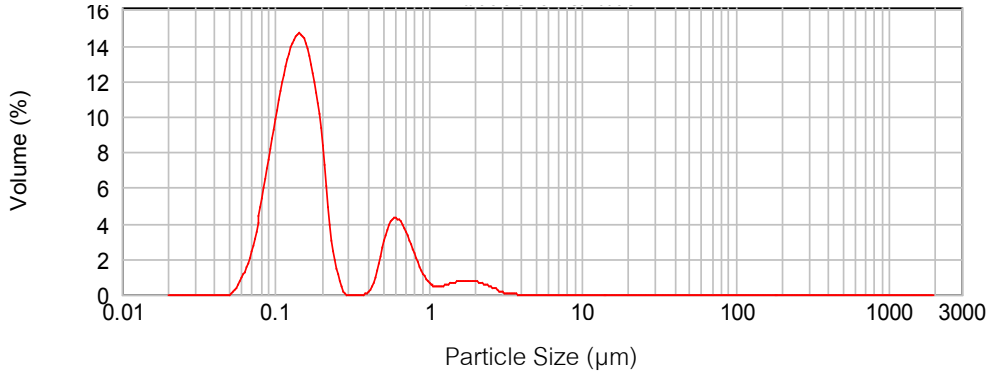
ก. ขนาดอนุภาคสารสีก่อนทำการกระจายสารสี



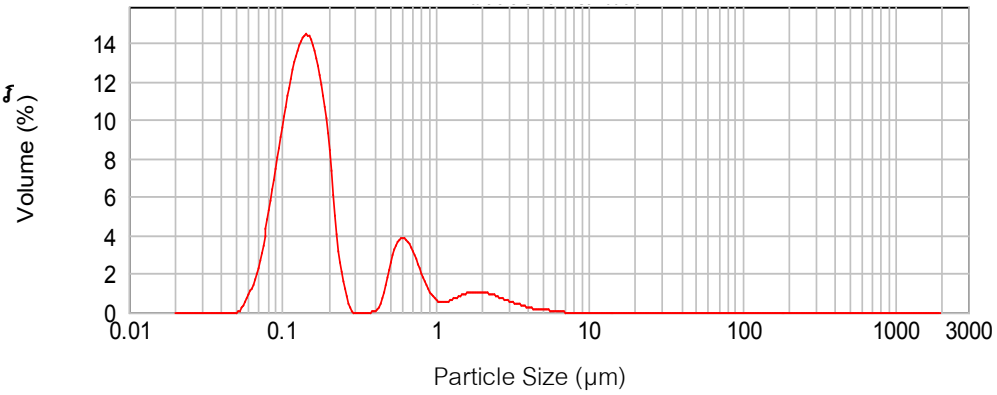
ข. ขนาดอนุภาคสารสีที่กระจายสารสี 3 ชั่วโมง



ค. ขนาดอนุภาคสารสีที่กระจายสารสี 6 ชั่วโมง



ง. ขนาดอนุภาคสารสีที่กระจายสารสี 9 ชั่วโมง



จ. ขนาดอนุภาคสารสีที่กระจายสารสี 9 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับปริมาณอนุภาคสารสีที่เวลาบดต่าง ๆ

4.5 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายต่อการยึดติดและคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำบนฟิล์ม LLDPE และ CPP

4.5.1 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อสมบัติหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 ที่เตรียมได้มีแรงตึงผิวใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ปริมาณสารยึดที่เพิ่มขึ้นในสูตรหมึกที่ 1-4 ทำให้อัตราส่วนของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนมีค่า 1:0.79, 1:0.95, 1:1.05 และ 1:1.66 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณสารยึดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ แรงตึงผิวเฉลี่ยของหมึกพิมพ์จึงมีค่า 40 มิลลินิวตันต่อเมตร เหมือนกันในทุกสูตรหมึก

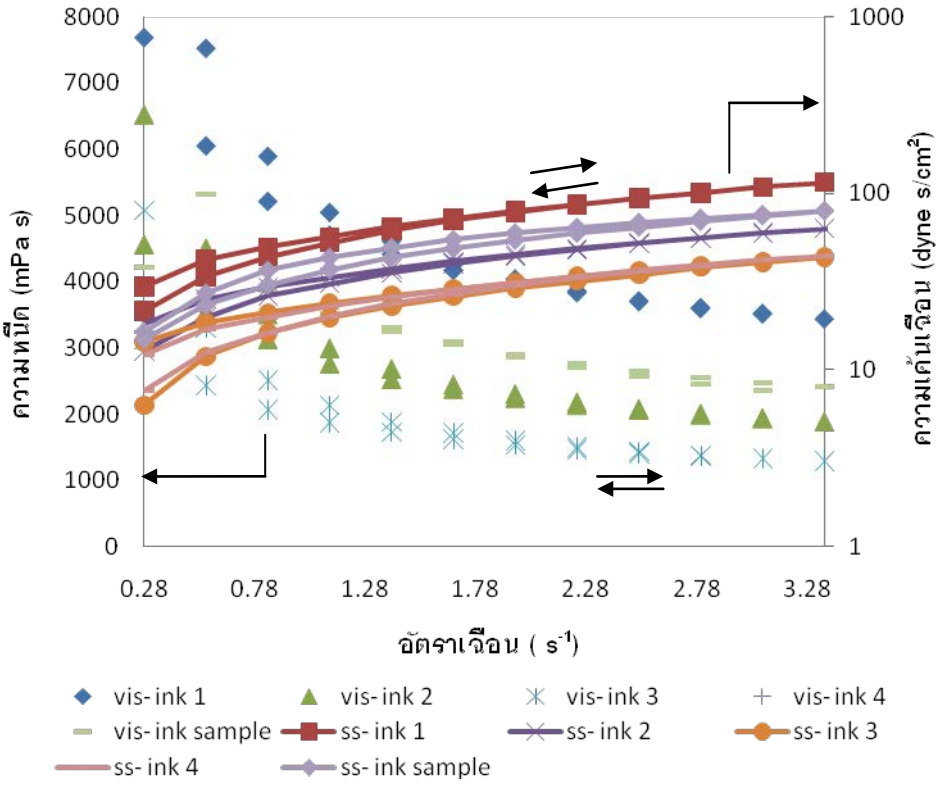
การเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 องค์ประกอบหลักที่สำคัญของหมึกพิมพ์ คือ สารยึดประเภทพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนที่มีค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 7-8 ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำทั้ง 4 สูตร มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-เบสของสารยึด ความเป็นกรด-เบสเฉลี่ยของหมึก

พิมพ์สูตรที่ 1-4 จึงมีค่าอยู่ในช่วง 7.4 ถึง 7.7 ดังนั้น ปริมาณสารยึดที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่ 1-4 จึงไม่มีผลต่อความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แรงตึงผิวและความเป็นกรด- เบสของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4

หมึกสูตรที่	แรงตึงผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร)	ความเป็นกรด-เบส
1	40.7±0.4	7.4±0.06
2	40.4±0.4	7.5±0.02
3	40.2±0.4	7.6±0.05
4	40.3±0.4	7.7±0.01

ความหนืดของหมึกพิมพ์ ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 แสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 และหมึกพิมพ์ทางการค้า

จากภาพที่ 4.5 พบว่า เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำลดลง เนื่องจากความหนืดของหมึกพิมพ์ขึ้นกับองค์ประกอบที่ใช้เตรียมหมึก ในงานวิจัยนี้ใช้สารทำข้นในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่เพิ่มปริมาณสารยึดขึ้นจากสูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1 ถึง 4 สารทำข้นมีความหนืดมากกว่าสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคน ดังนั้น หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 ที่มีปริมาณสารยึดน้อยกว่าหมึกพิมพ์สูตรที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่งผลให้ความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1 มีความหนืดมากที่สุด รองลงมา คือ หมึกพิมพ์สูตรที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับความหนืดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำทางการค้า พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 มีความหนืดใกล้เคียงกับความหนืดของหมึกพิมพ์ทางการค้ามากที่สุด และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์ พบว่า หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำทั้ง 4 สูตร และหมึกพิมพ์ทางการค้ามีลักษณะการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน คือ ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอัตราเฉือนหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำทั้ง 4 สูตร เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดลดลง เป็นพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก หรือ shear-thinning ซึ่งเป็นลักษณะการไหลของสารเคลือบและหมึกพิมพ์

4.5.2 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อคุณภาพสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

คุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ตรวจสอบหลังพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP คือ การยึดติด ความกระด้ากระด่าง ความมันวาว ค่าสี L*a*b* และค่าความดำ

4.5.2.1 การยึดติดของหมึกพิมพ์

การยึดติดของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ร้อยละของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่หลุดออกจากวัสดุพิมพ์ก่อนและหลังการปรับผิวฟิล์ม LLDPE และ CPP ด้วยคอโรนาดิสชาร์จ

สูตรที่	ร้อยละของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่หลุดออกไป (%)			
	LLDPE		CPP	
	ก่อนปรับผิว	หลังปรับผิว	ก่อนปรับผิว	หลังปรับผิว
1	-*	0	> 65	5
2	-	0	> 65	5
3	-	0	> 65	5
4	-	0	> 65	5

* หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำพิมพ์ไม่ติด

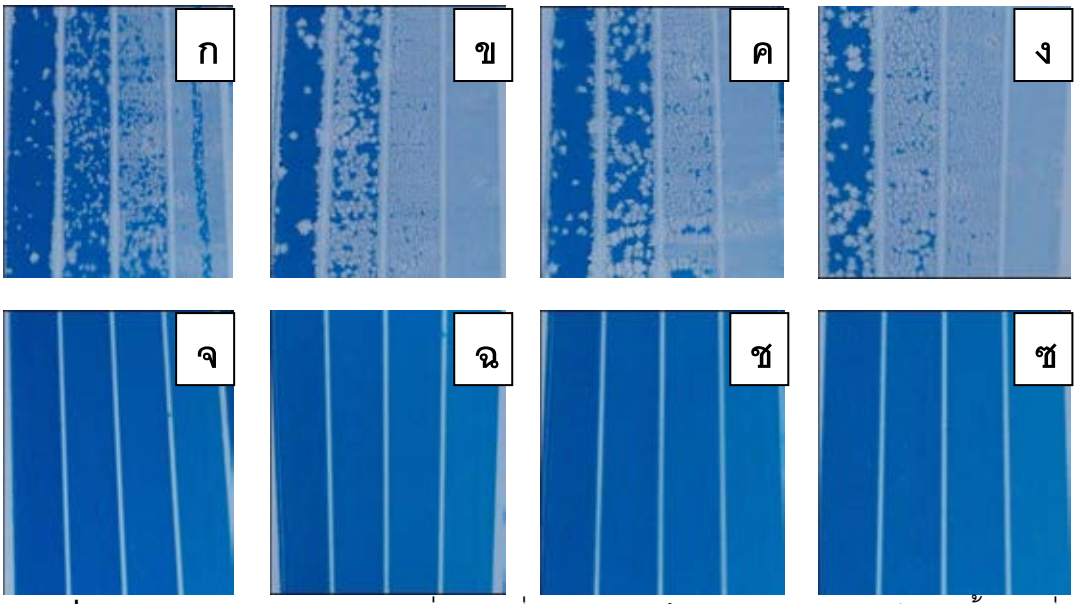
จากตารางที่ 4.8 พบว่า เมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1- 4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ให้ผลการหลุดลอกเหมือนกันหมดทุกสูตรเมื่อพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ภาวะการปรับผิวเดียวกัน แสดงว่า อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลู ต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนที่เปลี่ยนแปลงในสูตรที่ 1- 4 จากปริมาณสารยึดน้อยไปมาก คือ 1:0.79, 1:0.95, 1: 1.05 และ 1:1.66 ตามลำดับ ไม่มีผลต่อการยึดติดของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

อย่างไรก็ตามพบว่า การปรับผิวด้วยด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จกลับมีผลอย่างเห็นได้ชัดต่อการยึดติดของหมึกพิมพ์บนฟิล์มทั้ง LLDPE และ CPP หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1- 4 ไม่สามารถพิมพ์ติดบนฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับผิวฟิล์ม LLDPE แต่พิมพ์ติดบนฟิล์ม CPP แต่หมึกพิมพ์ยึดติดบนฟิล์ม CPP ได้ไม่ดีนัก มีการหลุดออกของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์จากฟิล์ม CPP ที่ไม่ได้ผ่านการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จมากกว่าร้อยละ 65 แต่เมื่อปรับผิว LLDPE และ CPP ด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ พบว่า หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1- 4 สามารถพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และหมึกพิมพ์ยังยึดติดได้ร้อยละ 100 ในขณะที่หมึกพิมพ์ทั้ง 4 สูตรพิมพ์ติดแต่ยังหลุดออกจากฟิล์ม CPP ร้อยละ 5 การยึดติดจึงไม่ดีเท่าการยึดติดบนฟิล์ม LLDPE ซึ่งผลการทดลองในส่วนนี้สอดคล้องกับผลของการปรับผิวและแรงตึงผิวของหมึก ดังนี้ คือ การที่ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์จะสามารถพิมพ์บนสิ่งพิมพ์ได้นั้น หมึกพิมพ์ควรมีค่าแรงตึงผิวน้อยกว่าค่าพลังงานผิวของวัสดุพิมพ์ แต่ค่าพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE ก่อนการปรับผิวด้วยคอโรนาดิสชาร์จมีค่า 38.0 มิลลินิว

ตันต่อเมตร (ดังอธิบายแล้วในหัวข้อ 4.2) น้อยกว่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ทุกสูตรที่มีค่า 40 มิลลินิวตันต่อเมตร (ดังอธิบายแล้วในหัวข้อ 4.5) ส่งผลให้ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ไม่เปียกผิวฟิล์ม LLDPE เมื่อปรับผิวหน้าฟิล์ม LLDPE ทำให้ค่าพลังงานผิวเพิ่มขึ้นเป็น 43.8 มิลลินิวตันต่อเมตร ค่าพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE จึงมีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ ส่งผลให้หมึกพิมพ์สามารถพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และมีการยึดติดดีมาก คือ ไม่มีการหลุดออกเลย เนื่องจากการปรับผิวหน้าทำให้พลังงานผิวเพิ่มขึ้นมากและพื้นผิวขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ดังอธิบายแล้วในหัวข้อ 4.2) เป็นเรื่องที่น่าสนใจว่า ถึงแม้ฟิล์ม CPP มีค่าพลังงานผิวของฟิล์มก่อนและหลังปรับผิว 37.8 และ 38.5 มิลลินิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ แต่กลับพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทุกสูตรที่มีค่า 40 มิลลินิวตันต่อเมตรได้ อย่างไรก็ตาม ฟิล์ม CPP มีค่าพลังงานผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีความขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังปรับผิวทำให้ หมึกพิมพ์ยึดติดบนชั้นฟิล์ม CPP ดีขึ้นด้วยผลจากความขรุขระเป็นหลัก แต่ไม่ดีเท่าการยึดติดบนฟิล์ม LLDPE เหตุผลหนึ่งอาจเนื่องมาจากพื้นผิวของฟิล์ม CPP บางส่วนเสียรูปไปจากการปรับผิวดังอธิบายแล้วในหัวข้อ 4.2

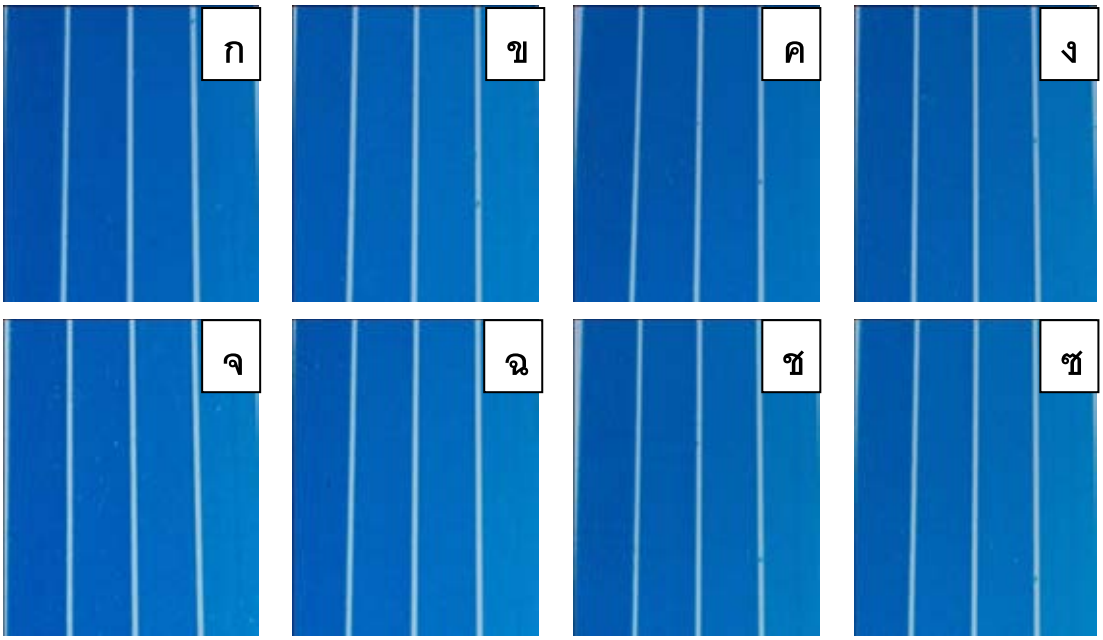
4.5.2.2 ความกระด้ากระด่าง

ความกระด้ากระด่างของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ยังไม่ได้ปรับผิวและปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จแสดงในภาพที่ 4.6 และ 4.7



ภาพที่ 4.6 ความกระด่ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ไม่ได้ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม LLDPE (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม CPP (ช) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม CPP (ซ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม CPP

จากภาพที่ 4.6 พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 1- 4 ที่พิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ไม่ได้ปรับผิวหน้าไม่สามารถพิมพ์ติดบนฟิล์ม LLDPE (ภาพที่ 4.6 ก และง) แต่หมึกพิมพ์สูตรที่ 1- 4 พิมพ์ติดบนฟิล์ม CPP (ภาพที่ 4.6 ก และง) โดยหมึกพิมพ์สูตรที่ 2 มีความกระด่ำกระด่างน้อยที่สุด (ภาพที่ 4.6 ฉ) ในขณะที่สูตรที่ 4 มีความกระด่ำกระด่างมากที่สุด (ภาพที่ 4.6 ซ) เนื่องจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนในสูตรที่ 1- 4 มีค่า 1:0.79, 1:0.95, 1: 1.05 และ 1:1.66 ตามลำดับ แสดงว่า อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนมีผลต่อความกระด่ำกระด่าง แต่ไม่มีแนวโน้มที่แนวนอน และขึ้นกับชนิดของฟิล์มด้วย



ภาพที่ 4.7 ความกระด่ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม LLDPE (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 บนฟิล์ม CPP (ช) หมึกพิมพ์สูตรที่ 3 บนฟิล์ม CPP (ซ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 บนฟิล์ม CPP

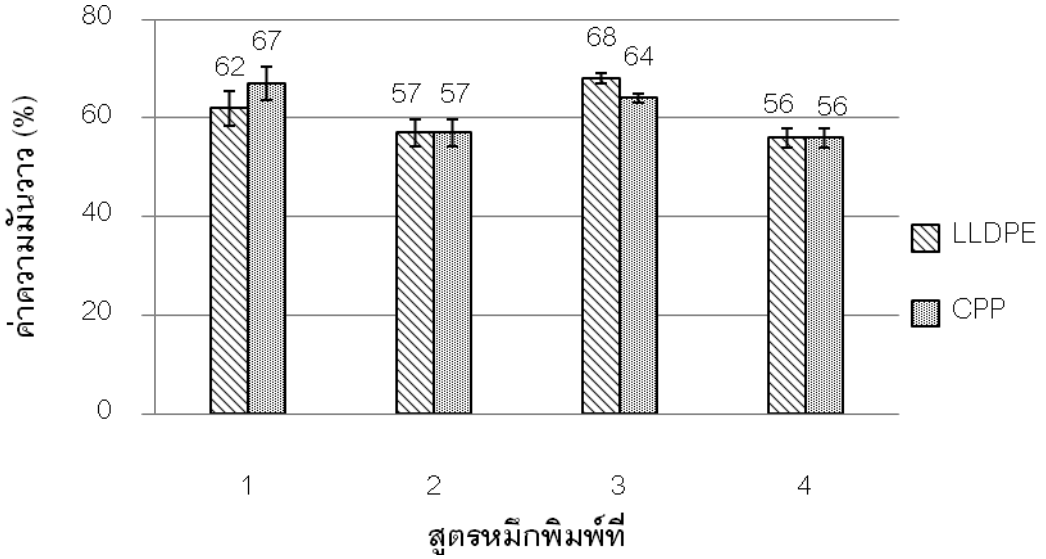
จากภาพที่ 4.7 พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 1- 4 ที่พิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ สามารถพิมพ์ติดบนฟิล์ม LLDPE (ภาพที่ 4.7 ก และ ง) และ CPP (ภาพที่ 4.7 จ และ ซ) โดยหมึกพิมพ์สูตรที่ 1, 2 และ 3 มีความกระด่ำกระด่างเพียงเล็กน้อย แต่หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 มีความกระด่ำกระด่างมากที่สุด (ภาพที่ 4.7 ง) ในขณะที่สูตรที่ 4 มีความกระด่ำกระด่างมากที่สุด (ภาพที่ 4.7 ซ) ในขณะที่คุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม CPP ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สูตรที่ 1 และ 4 (ภาพที่ 4.7 จ และ ซ, ตามลำดับ) มีความกระด่ำกระด่างมากที่สุด แต่หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 และ 3 (ภาพที่ 4.7 ฉ และ ช, ตามลำดับ) มีความกระด่ำกระด่างเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดในสูตรที่ 1-4 มีค่า 1:0.79, 1:0.95, 1: 1.05 และ 1:1.66 ตามลำดับ แสดงว่า อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนมีผลต่อความกระด่ำกระด่าง แต่ไม่มีแนวโน้มที่แนวนอน และขึ้นกับชนิดของฟิล์มและการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ

4.5.2.3 ความมันวาวของสิ่งพิมพ์

ความมันวาวของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าหมึกพิมพ์สูตรที่ 3 มีค่าความมันวาวของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE มากที่สุด 66 และสูตรที่ 4 มีค่าความมันวาวบนสิ่งพิมพ์น้อยที่สุด 56 ในขณะที่ค่าความมันวาวของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม CPP ของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1 มีค่าความมันวาวมากที่สุด 69 และสูตรที่ 4 ให้ค่าความมันวาวบนสิ่งพิมพ์น้อยที่สุด 56 ซึ่งเท่ากับค่าความมันวาวน้อยที่สุดที่วัดได้บนสิ่งพิมพ์ LLDPE

ตารางที่ 4.9 ความมันวาวที่ geometry 60° ของสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ฐานน้ำสูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ

หมึกสูตรที่	**ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม (%)**	
	LLDPE	CPP
1	62±3.5	67±2.6
2	57±2.8	57±4.6
3	68±1.0	64±5.4
4	56±1.9	56±5.2



ภาพที่ 4.8 ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

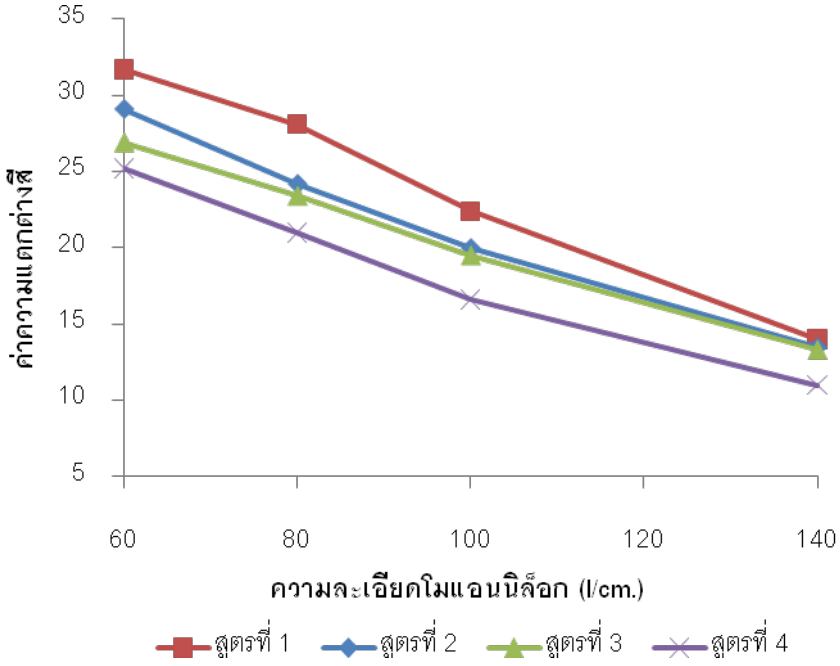
เนื่องจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีต่อสารยึดในสูตรที่ 1-4 มีค่า 1:0.79, 1:0.95, 1: 1.05 และ 1:1.66 ตามลำดับ แสดงว่า อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคนมีผลต่อความมันวาว แต่ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน

4.5.2.4 ค่าสี L*a*b* บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT

ค่าสี L*a*b* ของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT แสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.9 เมื่อนำหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์มาวัดค่าสี L*a*b* ด้วยเครื่องสเปกโตรเดนซิโตมิเตอร์ ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร เทียบกับมาตรฐานหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีไซแอน ซึ่งกำหนดให้ L*= 58, a*= -38 b*= -45 และค่าความแตกต่างสีไม่เกิน 6 พบว่า ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อก 140 เส้นต่อเซนติเมตร ให้ค่าความแตกต่างสีน้อยที่สุดในหมึกพิมพ์ทุกสูตร ความแตกต่างสีที่ความละเอียดโมแอนนิล็อกที่เท่ากัน หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 มีค่ามาก และค่าลดลงตามลำดับจากสูตรที่ 2 3 และ 4 นอกจากนี้ ค่าความแตกต่างสียังลดลงจากความละเอียดของโมแอนนิล็อกที่ 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร แสดงว่า อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคนมีผลต่อความมันวาว โดยปริมาณสารยึดที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างสีมีค่าน้อยลง

ตารางที่ 4.10 ค่าสี L*a*b* ของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT

หมึกสูตรที่	ความละเอียดโมแอนนิล็อก (เส้นต่อเซนติเมตร)	ค่าสี			
		L*	a*	b*	ความแตกต่างสี
1	60	36.45±0.35	-19.34±0.38	-58.77±0.27	31.7±0.6
	80	38.84±0.28	-21.69±0.26	-57.43±0.23	28.1±0.4
	100	42.68±0.21	-25.34±0.06	-55.25±0.27	22.4±0.3
	140	49.25±0.68	-28.42±0.55	-50.09±0.77	14.0±0.7
2	60	37.65±0.52	-21.52±0.66	-57.60±0.26	29.1±0.9
	80	41.13±0.29	-24.30±0.23	-55.59±0.31	24.2±0.5
	100	44.11±0.31	-26.86±0.05	-54.13±0.40	20.0±0.4
	140	49.25±0.40	-29.26±0.44	-50.28±0.42	13.5±0.5
3	60	39.28±0.59	-23.01±0.42	-57.08±0.47	26.9±0.9
	80	41.75±0.41	-25.01±0.31	-55.80±0.20	23.4±0.5
	100	44.58±0.46	-27.31±0.16	-54.29±0.66	19.5±0.7
	140	49.42±1.05	-29.72±0.35	-50.76±1.18	13.3±1.1
4	60	40.29±0.27	-24.13±0.25	-56.37±0.33	25.2±0.5
	80	43.58±0.11	-26.00±0.52	-54.48±0.10	21.0±0.3
	100	46.74±0.40	-28.39±0.16	-52.49±0.33	16.6±0.5
	140	51.38±1.25	-30.15±0.27	-48.79±1.34	11.0±1.0



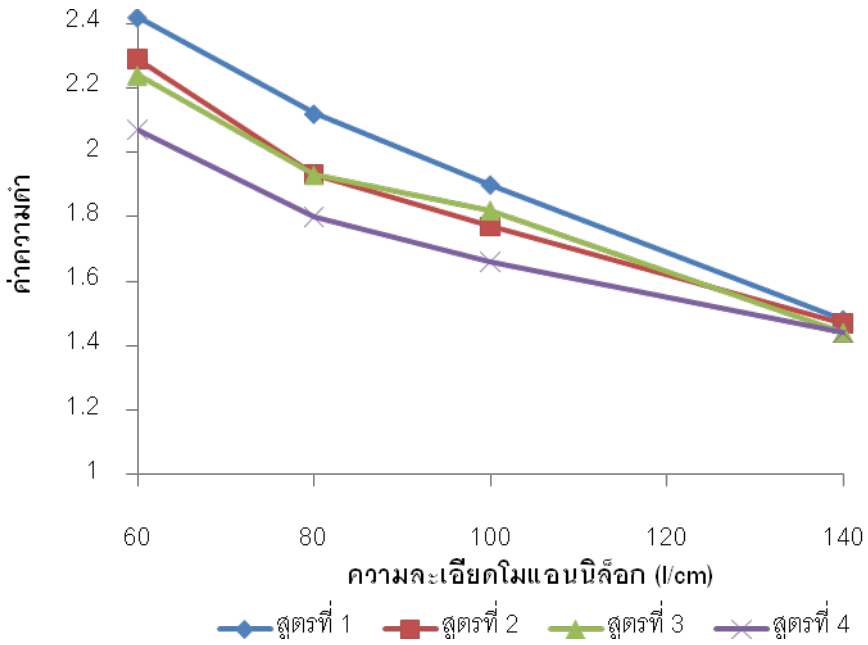
ภาพที่ 4.9 ค่าความแตกต่างสีที่ความละเอียดโมแอนนิล็อกต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4

4.5.2.5 ค่าความดำบนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT

ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตรบนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT แสดงในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.11 ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตรบนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT

หมึกสูตรที่	ความละเอียดโมแอนนิล็อก เส้นต่อเซนติเมตร	ค่าความดำ			
		วัดครั้งที่			ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	
1	60	2.35	2.43	2.47	2.42±0.06
	80	2.07	2.12	2.17	2.12±0.05
	100	1.9	1.91	1.89	1.90±0.02
	140	1.47	1.5	1.48	1.48±0.04
2	60	2.27	2.33	2.26	2.29±0.02
	80	1.91	1.94	1.95	1.93±0.02
	100	1.66	1.78	1.86	1.77±0.10
	140	1.42	1.5	1.5	1.47±0.05
3	60	2.22	2.27	2.24	2.24±0.03
	80	1.96	1.91	1.92	1.93±0.03
	100	1.81	1.83	1.82	1.82±0.01
	140	1.42	1.46	1.44	1.44±0.02
4	60	2.08	2.09	2.03	2.07±0.03
	80	1.81	1.81	1.78	1.80±0.02
	100	1.65	1.66	1.67	1.66±0.01
	140	1.41	1.46	1.45	1.44±0.03



ภาพที่ 4.10 ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อกต่าง ๆ

ค่าความดำในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีไม่มีค่ากำหนดแน่นอน ขึ้นกับความต้องการของแต่ละงานพิมพ์ ใช้ดูความสม่ำเสมอของงานพิมพ์เพื่อความสะดวกในการทำงานของช่างพิมพ์ เมื่อวัดค่าความดำของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 บนกระดาษทดสอบหมึกพิมพ์ IGT ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อก 60, 80, 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร พบว่า ค่าความดำของสิ่งพิมพ์ที่ความละเอียดโมแอนนิล็อกต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันในแต่จะจุดของแผ่นตัวอย่าง แสดงว่า ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนกระดาษทดสบพิมพ์ IGT มีความสม่ำเสมอ หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 มีค่าความดำของสิ่งพิมพ์มากที่สุด รองลงมา คือ สูตรที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เนื่องจากหมึกพิมพ์สูตรที่ 1 มีปริมาณสารยึดน้อย ทำให้อัตราส่วนสารสีต่อสารยึดมีค่าน้อย (1:0.79) ในขณะที่สูตรที่ 2, 3 และ 4 มีปริมาณสารยึดมากขึ้นตามลำดับ ทำให้สีในหมึกพิมพ์เจือจางลง ส่งผลให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์ลดลง

เมื่อนำผลของสมบัติหมึกพิมพ์ คือ แรงตึงผิว ความเป็นกรด-เบส ความหนืด ของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 มาเปรียบเทียบกัน พบว่า ค่าแรงตึงผิวและค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ทางการค้ามากที่สุด และเมื่อดูผลของคุณภาพสิ่งพิมพ์ด้านการยึดติดพบว่าการยึดติดขึ้นกับค่าพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP และแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ แต่ค่าแรง

ตึงผิวที่วัดได้จากหมึกพิมพ์ทั้ง 4 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น การยึดติดจึงขึ้นกับค่าพลังงานผิวของแผ่นฟิล์ม เมื่อดูผลของความกระด่ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 2 ให้ความกระด่ำกระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP น้อยที่สุด จึงเลือกหมึกพิมพ์สูตรที่ 2 ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคน 1:0.95 ซึ่งให้ผลของสมบัติหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ดีที่สุดมาศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการทนต่อการขัดถู และสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์ และคุณภาพสิ่งพิมพ์ในหัวข้อ 4.6

4.6 ผลของชนิดและปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ และสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์

4.6.1 ผลของชนิดและปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ และสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์

4.6.1.1 แรงตึงผิวและค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12

แรงตึงผิวและค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แรงตึงผิวและความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12

หมึกสูตรที่	ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ (กรัม)	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (กรัม)	แรงตึงผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร)	ความเป็นกรด-เบส
5	0.4	-	40.5±0.5	7.2±0.0
6	0.5	-	40.7±0.3	7.4±0.0
7	0.6	-	40.7±0.3	7.4±0.0
8	-	0.4	32.8±0.3	7.4±0.0
9	-	0.6	30.7±0.6	7.4±0.0
10	-	0.8	27.7±0.3	7.5±0.0
11	-	1.0	26.8±0.3	7.4±0.0
12	0.6	0.4	30.8±0.3	7.4±0.0

จากตารางที่ 4.12 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์นูบาแวกซ์เพิ่มขึ้น แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7 มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยแรงตึงผิว 40 มิลลินิวตันต่อเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าแรงตึงผิวที่วัดได้จากหมึกพิมพ์ที่ไม่ใส่คาร์นูบาแวกซ์ แสดงว่า ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ ไม่มีผลต่อค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์

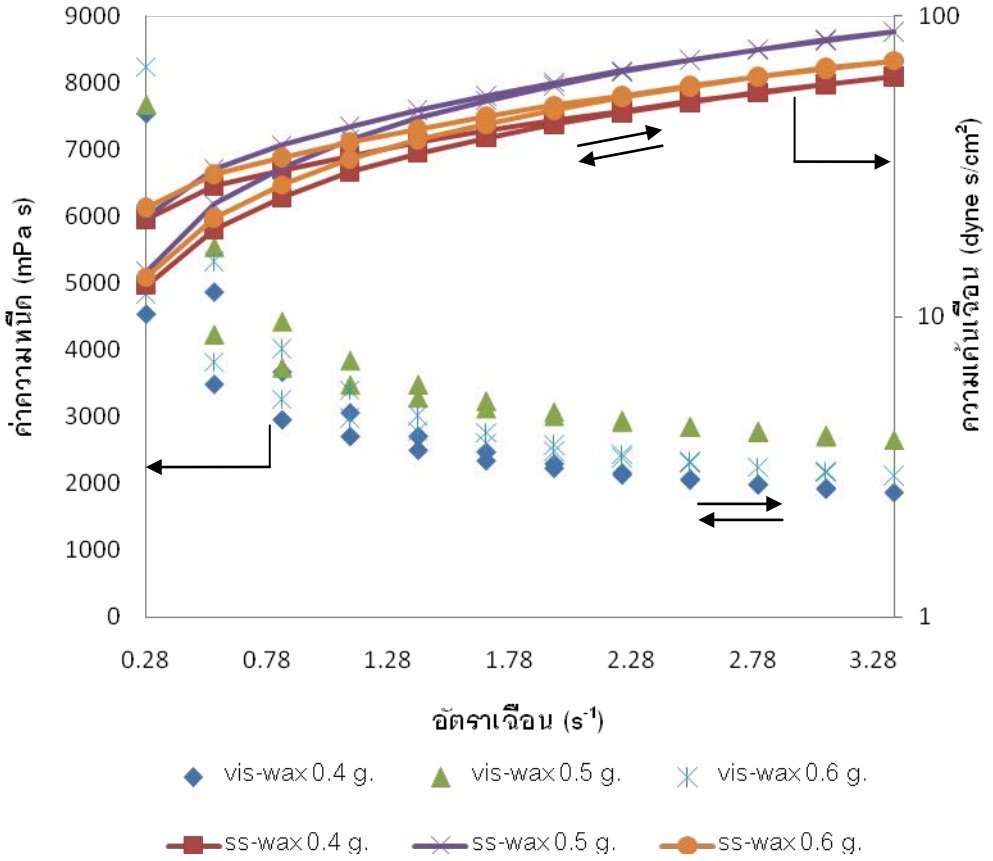
เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวปริมาณต่าง ๆ ลงในหมึกพิมพ์สูตรที่ 2 ทำให้ได้หมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11 พบว่า ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ลดลง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นไตรไซลอกเซนดัดแปรด้วยพอลิเอสเทอร์ (วัดแรงตึงผิวได้ค่า 25 นิวตันต่อเมตร) ดังนั้น จากสูตรหมึกพิมพ์สูตรที่ 2 ที่มีแรงตึงผิว 40 นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อนำมาเตรียมหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11 สารลดแรงตึงผิวที่มีแรงตึงผิวต่ำมากนี้ จึงลดแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใส่ปริมาณเพิ่มขึ้น

หมึกพิมพ์สูตรที่ 12 มีคาร์นูบาแวกซ์ในปริมาณ 0.6 กรัม และสารลดแรงตึงผิว 0.4 กรัม มีค่าแรงตึงผิวเฉลี่ย 31 มิลลินิวตันต่อเมตร เมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์สูตรที่ 7 ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบ แต่มีคาร์นูบาแวกซ์ในปริมาณเท่ากัน พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 12 มีค่าแรงตึงผิวต่ำกว่า เนื่องจากผลของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในสูตรหมึก

ค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 7 เนื่องจากพอลิยูรีเทนดัดแปรด้วยซิลิโคนที่ใช้ทำหน้าที่เป็นสารยึดมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7-8 ดังนั้น ค่าความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์ทุกสูตรจึงมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับสารยึดซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของหมึกพิมพ์

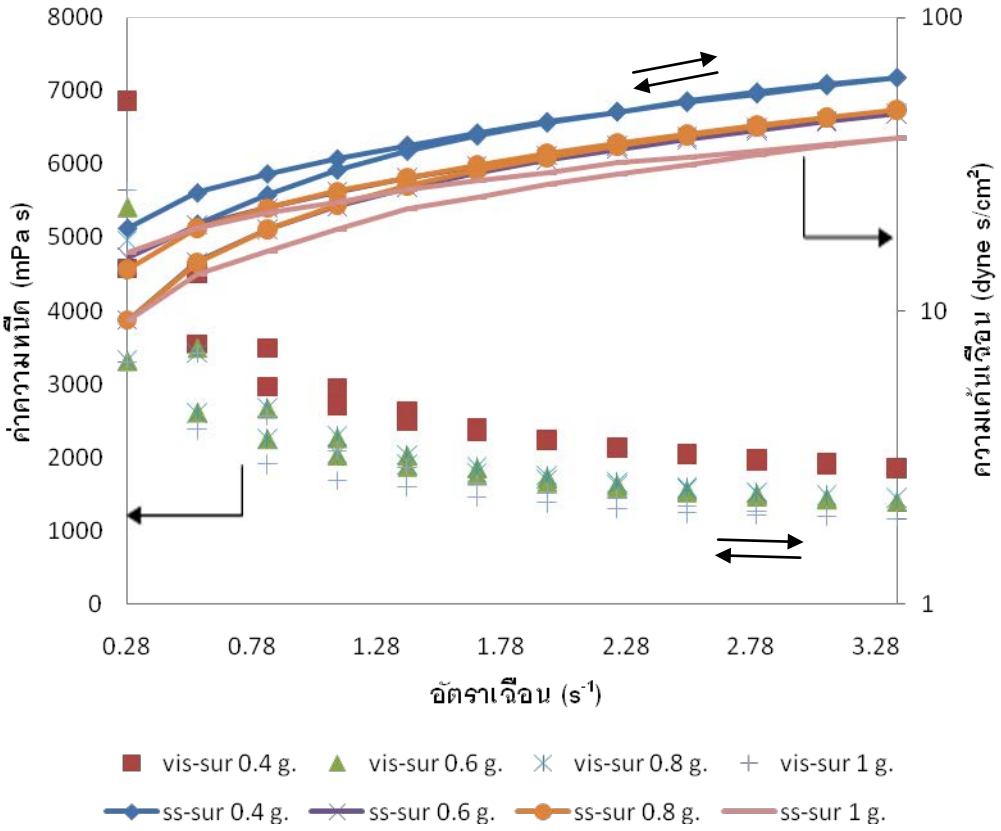
4.6.1.2 ความหนืดหมึกพิมพ์ สูตรที่ 5-12

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7 แสดงในภาพที่ 4.11 พบว่า หมึกพิมพ์ที่ใส่คาร์นูบาแวกซ์ 0.5 กรัม (สูตรที่ 6) มีค่าความหนืดมากที่สุด รองลงมา คือ สูตรที่ 7 (คาร์นูบาแวกซ์ 0.6 กรัม) และสูตรที่ 5 (คาร์นูบาแวกซ์ 0.4 กรัม) ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนืดที่วัดได้นั้นเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีทิศทางแน่นอน และเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ลดลง เป็นลักษณะการไหลแบบซูโดพลาสติก



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7

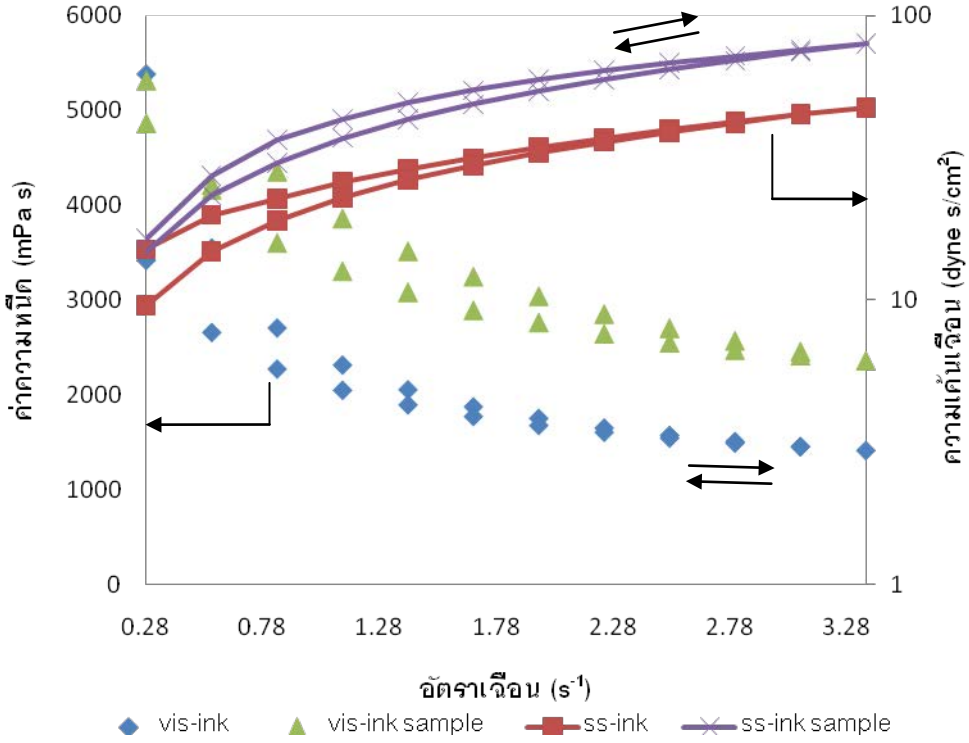
ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11 แสดงในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11

จากภาพที่ 4.12 พบว่า เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ลดลง เป็นลักษณะการไหลแบบซูโดพลาสติก เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 1-7 และหมึกพิมพ์ทางการค้า เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11 พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 8 มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุด มีค่าความหนืดมากที่สุด ในขณะที่สูตรที่ 11 มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด แต่มีค่าความหนืดน้อยที่สุด ดังนั้น สารลดแรงตึงผิวมีผลต่อค่าความหนืดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ โดยสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 เทียบกับหมึกพิมพ์ทางการค้า แสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 เทียบกับหมึกพิมพ์ทางการค้า

จากภาพที่ 4.13 พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 12 มีค่าความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซ กราฟีฐานน้ำทางการค้า และเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ลดลง เป็นลักษณะการไหลแบบซูโดพลาสติก เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-11

4.6.2 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการทนต่อการขัดถู และสารลดแรงตึงผิวในหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 ต่อคุณภาพสิ่งพิมพ์ของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยคอโรนาดิสชาร์จ

4.6.2.1 การยึดติดของหมึกพิมพ์

การยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวด้วยคอโรนาดิสชาร์จ แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-12 บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP

สูตรที่	ร้อยละของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่หลุดออกไป (%)	
	LLDPE	CPP
5	0	5
6	0	5
7	0	5
8	0	5
9	0	5
10	0	5
11	0	5-15
12	0	5-15

เมื่อนำหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7 มาทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP พบว่า หมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตรมีระดับการยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ระดับเดียวกัน และยังขึ้นกับชนิดของฟิล์ม โดยฟิล์ม LLDPE ไม่มีการหลุดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ทั้งสามสูตร ในขณะที่ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บางส่วนบนฟิล์ม CPP หลุดออกคิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่ทดสอบ แสดงว่า คาร์นูบาแวกซ์ที่เป็นสารเพิ่มการทนต่อการขัดถูไม่มีผลต่อการยึดติดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ

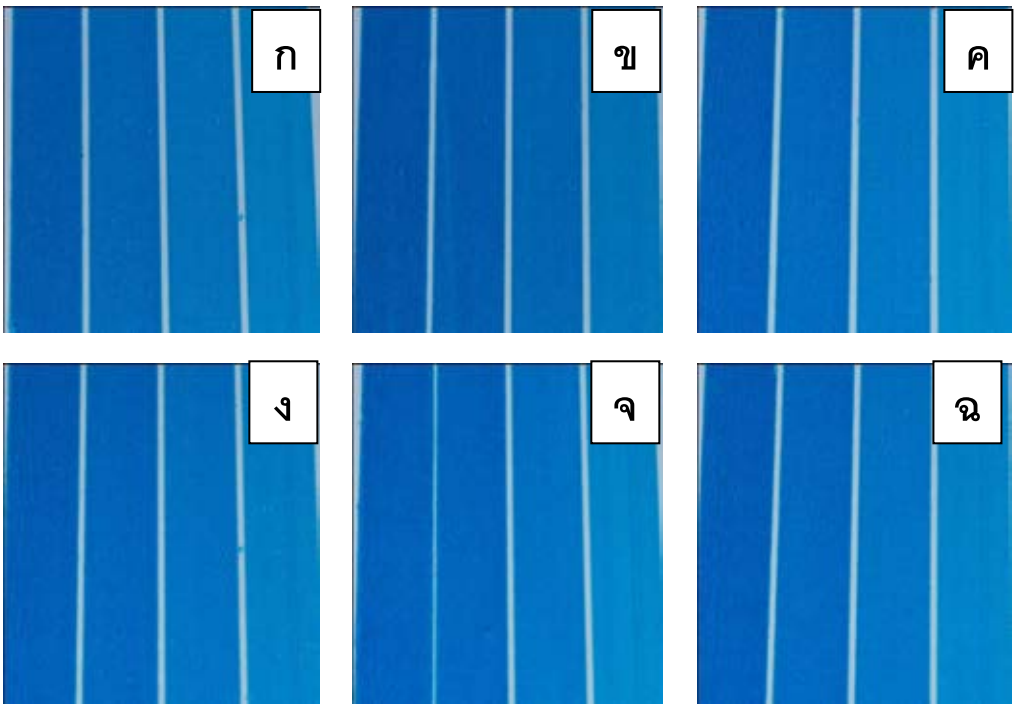
เมื่อนำหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11 มาทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 8-11 ให้การยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE ได้ดี ไม่มีการหลุดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ ในขณะที่ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-10 บางส่วนบนฟิล์ม CPP หลุดออกของคิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่ทดสอบทั้งหมด และพบการหลุดออกของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 11 อยู่ในช่วงร้อยละ 5-15 ของพื้นที่ทดสอบ ซึ่งเป็นสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด 1 กรัม แสดงว่า สารลดแรงตึงผิวเมื่อใช้มากเกินไปทำให้การยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม CPP ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อการยึดติดของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE

หมึกพิมพ์สูตรที่ 12 เป็นสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับสูตรที่ 8 (ที่ไม่ใส่คาร์นูบาแวกซ์) แต่กลับให้การยึดติดน้อยกว่าสูตรที่ 8 เมื่อพิมพ์บนฟิล์ม CPP และให้ผลการยึดติดอยู่ในระดับเดียวกับหมึกพิมพ์สูตรที่ 11 ซึ่งมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากกว่า

แสดงว่า การใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับคาร์นูบาแวกซ์มีผลร่วมกันทำให้การยึดติดลดลงกว่าการใช้สารแยกกัน

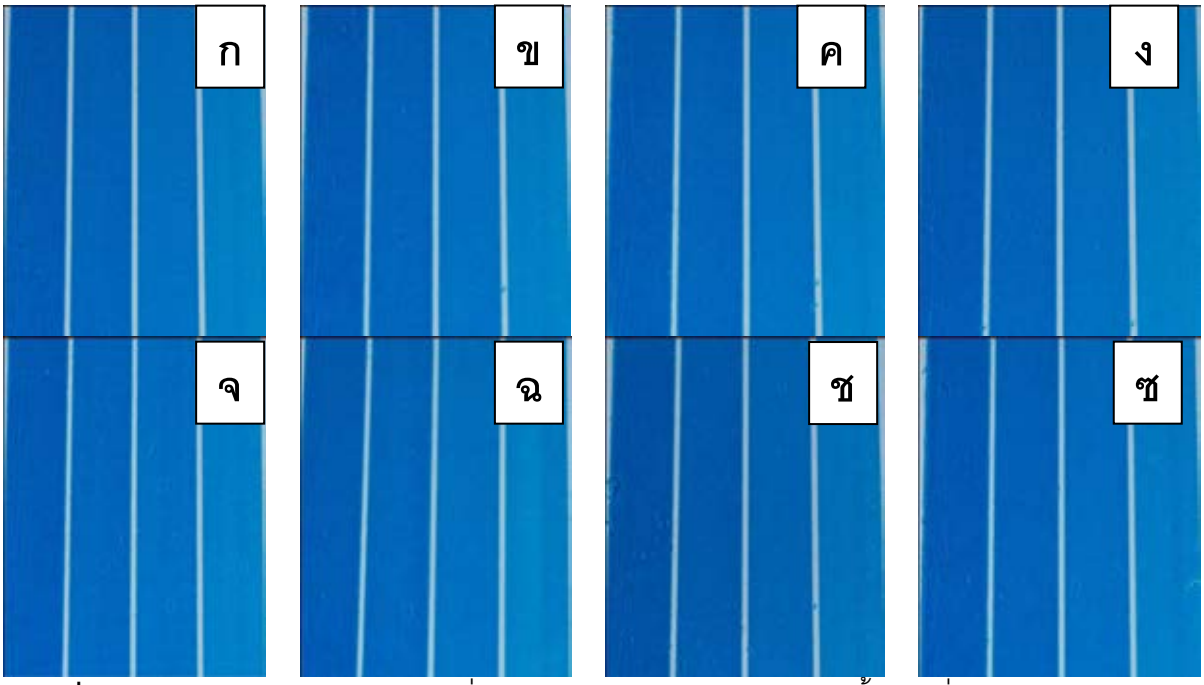
4.6.2.2 ความกระด้ำกระด่าง

ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 5-7 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ แสดงในภาพที่ 4.14 และสูตรที่ 8-11 แสดงในภาพที่ 4.15 เมื่อพิจารณาความกระด้ำกระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7 ซึ่งมีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ที่เป็นสารเพิ่มการทนต่อการขัดถู 0.4, 0.5 และ 0.6 กรัม ตามลำดับ บนฟิล์ม LLDPE และ CPP พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 7 ที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์มากที่สุด 0.6 กรัม มีความกระด้ำกระด่างของหมึกพิมพ์น้อยที่สุด ในขณะที่หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 และ 6 มีความกระด้ำกระด่างใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบความกระด้ำกระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 7 บนแผ่นฟิล์มสองชนิด พบว่า ฟิล์ม LLDPE มีความกระด้ำกระด่างน้อยกว่าฟิล์ม CPP แสดงว่า ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ที่มากเกินไปมีผลให้ความกระด้ำกระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP เพิ่มขึ้น



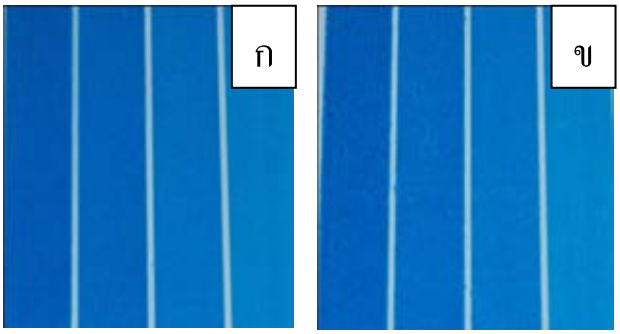
ภาพที่ 4.14 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 5-7 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 6 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 7 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 บนฟิล์ม CPP (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 6 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 7 บนฟิล์ม CPP

เมื่อนำชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-12 ที่พิมพ์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP มาเปรียบเทียบความกระด้ำกระด่าง พบว่า ฟิล์ม LLDPE ให้ความกระด้ำกระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์น้อยกว่าฟิล์ม CPP ในทุกสูตรหมึกพิมพ์ ความกระด้ำกระด่างของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ สูตรที่ 8 มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุด 0.4 กรัม มีความกระด้ำกระด่างน้อยที่สุด รองลงมาคือ สูตรที่ 9, 10 และสูตรที่ 11 ซึ่งมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด 1 กรัม มีความกระด้ำกระด่างมากที่สุด (ภาพที่ 4.15 ซ) แสดงว่า ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความกระด้ำกระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP มีมากขึ้น



ภาพที่ 4.15 ความกระด้ำกระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐาน้ำสูตรที่ 5-7 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) หมึกพิมพ์สูตรที่ 8 บนฟิล์ม LLDPE (ข) หมึกพิมพ์สูตรที่ 9 บนฟิล์ม LLDPE (ค) หมึกพิมพ์สูตรที่ 10 บนฟิล์ม LLDPE (ง) หมึกพิมพ์สูตรที่ 11 บนฟิล์ม LLDPE (จ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 8 บนฟิล์ม CPP (ฉ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 9 บนฟิล์ม CPP (ช) หมึกพิมพ์สูตรที่ 10 บนฟิล์ม CPP (ซ) หมึกพิมพ์สูตรที่ 11 บนฟิล์ม CPP

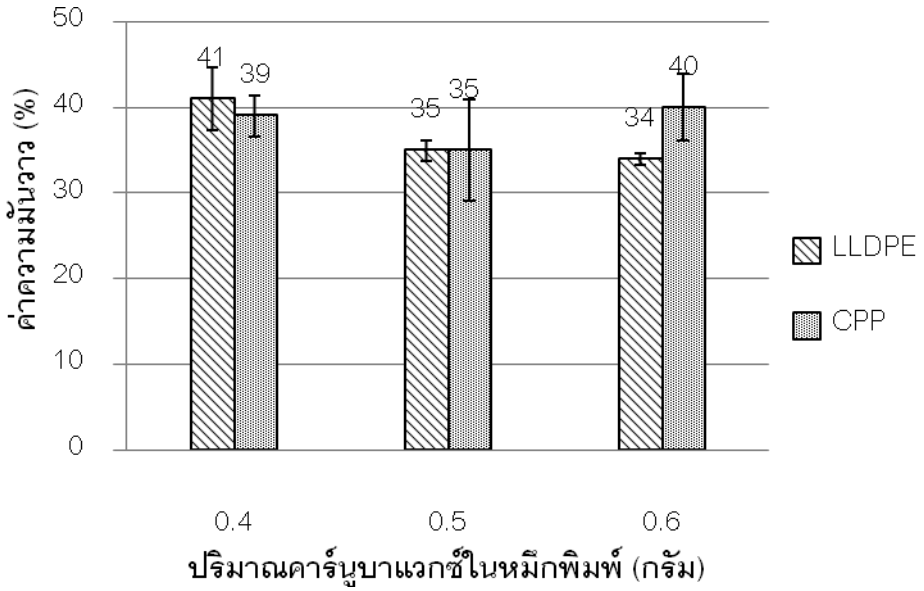
ความกระด้ากระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 12 บนฟิล์ม LLDPE มีน้อยกว่าพิมพ์บน CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ความกระด้ากระด่างของสิ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำสูตรที่ 12 บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ที่ปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จ (ก) ฟิล์ม LLDPE (ข) ฟิล์ม CPP

4.6.2.3 ความมันวาวของหมึกพิมพ์

ความมันวาวที่ geometry 60° ของสิ่งพิมพ์บนฟิล์มที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 ค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์ LLDPE และ CPP ที่ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.14 ความมันวาวที่ geometry 60° ของสิ่งพิมพ์บนฟิล์มที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ต่างกัน (สูตรที่ 5-7)

หมึกสูตรที่	ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ในหมึก (กรัม)	ความมันวาวของสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม (%)	
		LLDPE	CPP
5	0.4	41±3.7	39±2.4
6	0.5	35±1.2	35±5.9
7	0.6	34±0.7	40±3.9

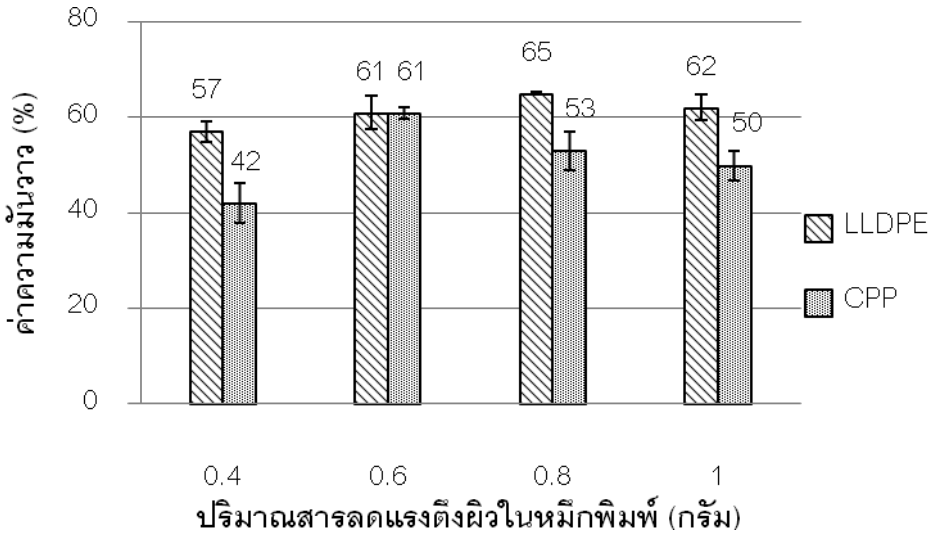
จากตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.17 พบว่า เมื่อหมึกพิมพ์สูตรที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ 0.4 , 0.5 และ 0.6 กรัม ตามลำดับ ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บน LLDPE มีความมันวาวลดลงเมื่อปริมาณคาร์นูบาแวกซ์เพิ่มขึ้น หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 ให้ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์มากที่สุด และหมึกพิมพ์สูตรที่ 6 และ 7 ให้ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์ใกล้เคียงกัน สำหรับค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม CPP พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 5 และ 7 ให้ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์ใกล้เคียงกัน และมากกว่าค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 6 ที่มีคาร์นูบาแวกซ์ 0.5 กรัม ซึ่งให้ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์น้อยที่สุด

ดังนั้น ผลของปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ที่เป็นสารเพิ่มการทนต่อการขัดถูต่อค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์ ขึ้นกับชนิดของแผ่นฟิล์ม และสารเพิ่มการทนต่อการขัดถูมีผลให้ค่าความมันวาวของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ลดลงเมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์สูตรที่ 2 ที่ไม่ใส่คาร์นูบาแวกซ์

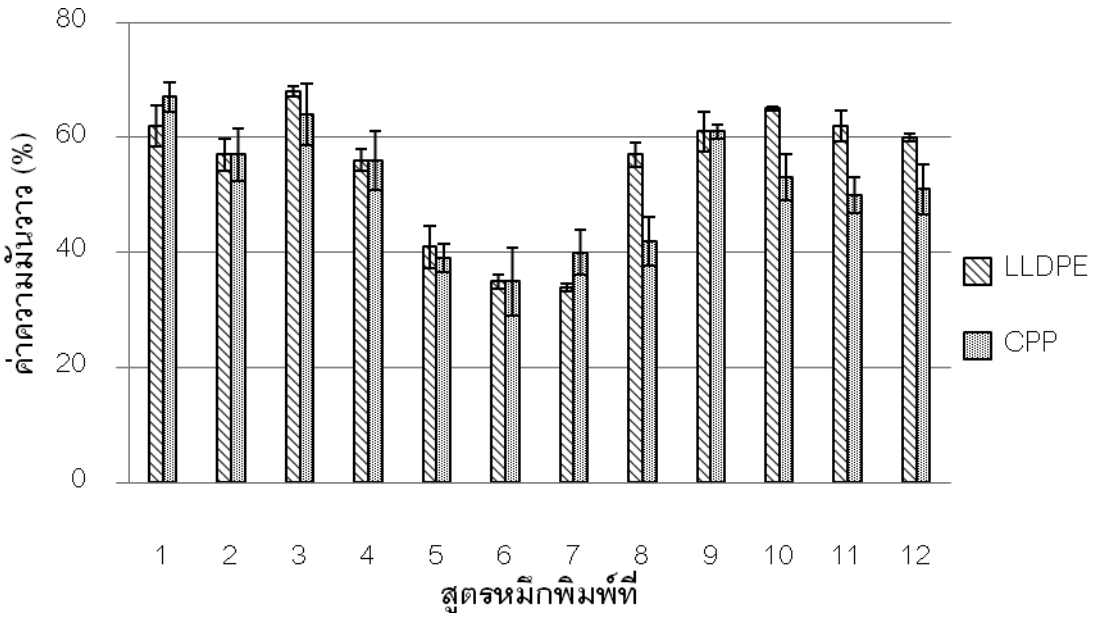
ความมันวาวที่ geometry 60° ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสูตรที่ 8-11 ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.18

ตารางที่ 4.15 ความมันวาวที่ geometry 60° ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ (สูตรที่ 8-11)

สูตรที่	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (กรัม)	ความมันวาวของหมึกพิมพ์บนพลาสติกชนิดต่าง ๆ (%)	
		LLDPE	CPP
8	0.4	57±2.1	42±4.2
9	0.6	61±3.5	61±1.2
10	0.8	65±0.3	53±4.0
11	1	62±2.7	50±3.1



ภาพที่ 4.18 ค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์ LLDPE และ CPP ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ



ภาพที่ 4.19 ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-12 บนสิ่งพิมพ์ LLDPE และ CPP

จากตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.18, 4.19 พบว่า ฟิล์ม LLDPE ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สูตรที่ 10 ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0.8 กรัม ให้ค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์มากที่สุด ในขณะที่หมึกพิมพ์สูตรที่ 9 มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0.6 กรัม ให้ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์มากที่สุดเมื่อพิมพ์บนฟิล์ม CPP หมึกพิมพ์สูตรที่ 8 ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0.4 กรัม ให้ค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์น้อยที่สุดเมื่อพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม LLDPE และ CPP นอกจากนี้ พบว่า สารลดลงตึงผิวมีผลเพิ่มความมันวาวให้แก่สิ่งพิมพ์เมื่อเทียบกับหมึกที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบ

ความมันวาวบนฟิล์ม LLDPE และ CPP เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 มีค่า 60±0.6 และ 51±4.3 ตามลำดับ LLDPE และ CPP ซึ่งมีค่าความมันวาวสูงขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรที่ 2 ที่ไม่ใส่สารลดแรงตึงผิว และสูตรที่ 8 ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน แสดงว่า การใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับคาร์นูบาแวกซ์มีผลร่วมกันทำให้ความมันวาวดีกว่าการใช้สารแยกกัน

4.6.2.4 การทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์

เมื่อเปรียบเทียบผลการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูตรที่ 1-4 พบว่า แผ่นฟิล์ม LLDPE หมึกพิมพ์สูตรที่ 1 ให้การทนต่อการขัดถูน้อยที่สุด ในขณะที่สูตรที่ 2-4 ให้การทนต่อการขัดถูที่ดีกว่า แสดงว่า ปริมาณสารยึดเพิ่มขึ้นทำให้การทนต่อการขัดถูเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการทนต่อการขัดถูที่พิมพ์บนฟิล์ม LLDPE ด้วยหมึกพิมพ์สูตรที่ 5-7 ที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ 0.4, 0.5 และ 0.6 กรัม ตามลำดับ พบว่า สูตร

ที่ 5 ที่มีปริมาณคาร์นูบาแวกซ์น้อยที่สุด ให้การทนการขัดถูมากที่สุด รองลงมา คือ 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูตรที่ไม่มีคาร์นูบาแวกซ์ พบว่า สูตรหมึกพิมพ์ที่ไม่มีคาร์นูบาแวกซ์ทนการขัดถูได้ดีกว่าสูตรหมึกพิมพ์ที่มีคาร์นูบาแวกซ์ แสดงว่า สารเพิ่มการทนการขัดถูคาร์นูบาแวกซ์ไม่ช่วยเพิ่มการทนต่อการขัดถู

เมื่อเปรียบเทียบผลการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-12 ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 กรัม พบว่า สูตรหมึกพิมพ์ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นให้การทนต่อการขัดถูน้อยลง สูตรที่ 12 ที่มีสารลดแรงตึงผิวและคาร์นูบาแวกซ์ให้การทนต่อการขัดถูน้อยลงเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว แสดงว่า การใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับคาร์นูบาแวกซ์มีผลร่วมกันทำให้การทนต่อการขัดถูน้อยลงบนแผ่นฟิล์ม LLDPE

หมึกพิมพ์สูตรที่ 4 ที่มีปริมาณสารยึดมากที่สุดให้การทนต่อการขัดถูดีที่สุดเมื่อพิมพ์บนฟิล์ม CPP ก่อนและหลังการปรับผิว รองลงมา คือ สูตรที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ แสดงว่าที่ปริมาณสารยึดเพิ่มขึ้นทำให้การทนต่อการขัดถูเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE

เมื่อเปรียบเทียบสูตรหมึกพิมพ์ที่ 5-7 ที่มีปริมาณสารเพิ่มการทนต่อการขัดถูคาร์นูบาแวกซ์ต่างกันพบว่า เมื่อปริมาณคาร์นูบาแวกซ์มากขึ้น ให้การทนต่อการขัดถูเพิ่มขึ้น แสดงว่า สารคาร์นูบาแวกซ์ช่วยเพิ่มการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม CPP แต่ไม่เพิ่มการทนต่อการขัดถูบนแผ่นฟิล์ม LLDPE

เมื่อเปรียบเทียบผลการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูตรที่ 8-12 บนแผ่นฟิล์ม CPP พบว่า ที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยให้ผลการทนการขัดถูของหมึกพิมพ์น้อยลงด้วย และเมื่อเปรียบเทียบสูตรหมึกพิมพ์ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ กับสูตรที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว พบว่า สูตรที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวกลับให้ผลการทนต่อการขัดถูดีกว่าสูตรที่มีสารลดแรงตึงผิว แสดงว่า สารลดแรงตึงผิวมีผลช่วยเพิ่มการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนแผ่นฟิล์ม CPP

สรุปผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP แสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 สรุปผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

สมบัติหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์			ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์			
			อัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลาย	คาร์นูบาแวกซ์	สารลดแรงตึงผิว	พลังงานผิวฟิล์ม
สมบัติหมึกพิมพ์	**ความหนืด**		√	√	√	NA
	แรงตึงผิว		X	X	√	NA
	ความเป็นกรด-เบส		X	X	X	NA
คุณภาพสิ่งพิมพ์	**การยึดติด**	LLDPE	X	X	X	√
		CPP	X	X	√	√
	กระดำกระด่าง	LLDPE	√	√	√	√
		CPP	√	√	√	√
	การทนการขัดถู	LLDPE	√	X	√	NA
		CPP	√	√	√	NA
	ความมันวาว	LLDPE	√	√	√	NA
		CPP	√	√	√	NA
	ค่าสี L*a*b*	LLDPE	√	NA	NA	NA
		CPP	√	NA	NA	NA
	ค่าความดำ	LLDPE	√	NA	NA	NA
		CPP	√	NA	NA	NA

หมายเหตุ (√) หมายถึง มีผล, (X) หมายถึง ไม่มีผล, NA หมายถึง นอกขอบเขตงานวิจัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของการปรับผิวด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จต่อพลังงานผิวและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP

การปรับผิวหน้าด้วยวิธีคอโรนาดิสชาร์จมีผลทำให้ค่าพลังงานผิวของฟิล์ม LLDPE และ CPP สูงขึ้น และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มมีความขรุขระ แต่ฟิล์ม CPP ให้ค่าพลังงานผิวสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีค่าพลังงานผิวหลังการปรับผิวหน้าต่ำกว่า 40 มิลลินิวตันต่อเมตร รวมทั้งพื้นผิวของ CPP บางส่วนถูกทำลายจากการปรับผิว การปรับผิวเพื่อเพิ่มพลังงานผิวจึงทำได้ยากกว่า LLDPE ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์จึงไม่ดีเท่ากับฟิล์ม LLDPE ที่มีค่าพลังงานผิวหลังการปรับผิวสูงกว่า

5.1.2 ผลการหาอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อตัวทำละลายเพื่อเตรียมกระจายสารสีด้วยวิธี Daniel flow point และผลของสารช่วยกระจายสารสีต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของสารสี

อัตราส่วนสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคนต่อ น้ำที่เหมาะสมในการกระจายสารสีให้ได้ขนาดอนุภาคสารสีน้อยกว่า 5 ไมโครเมตรในเวลาน้อยที่สุด คืออัตราส่วน 1:2.5:2.5 โดยน้ำหนัก สารช่วยกระจายสารสีชนิดอนุพันธ์ของกรดไขมันดัดแปรที่ไม่มีประจุช่วยลดเวลาในการกระจายสารสีและทำให้ขนาดอนุภาคสารสีไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มหรือตกตะกอน

5.1.3 ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดต่อสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำและคุณภาพสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

อัตราส่วนสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคนไม่มีผลต่อแรงตึงผิวและความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่มีสารทำข้นเป็นสารควบคุมความหนืด แต่มีผลต่อความหนืด เมื่อปริมาณสารยึดเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดหมึกพิมพ์ลดลง การยึดติดและความกระด้ำกระด่างของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่พิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP ไม่ขึ้นกับอัตราส่วนสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรซิลิโคน แต่ขึ้นกับชนิดของฟิล์มและการปรับผิว อัตราส่วนสารสีบีตาคอปเปอร์ทาโลไซยานินบลูต่อสารยึดพอลิยูรี

เทนดัดแปรซิลิโคนมีผลต่อความมันวาว แต่ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน ปริมาณสารยึดที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างสีและค่าความดำของหมึกพิมพ์มีค่าน้อยลง

5.1.4 ผลของปริมาณคาร์นูบาแวกซ์และสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์

ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ไม่มีผลต่อแรงตึงผิว ความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์ แต่มีผลต่อความหนืด นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพสิ่งพิมพ์ ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ที่มากเกินไปให้ความกระด้ากระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP เพิ่มขึ้น แต่ค่าความมันวาวลดลง ปริมาณคาร์นูบาแวกซ์ไม่มีผลต่อการยึดติดบนฟิล์มทั้ง 2 ชนิด คาร์นูบาแวกซ์ไม่เพิ่มการทนต่อการขัดถูบนฟิล์ม LLDPE แต่เพิ่มการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม CPP

ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าแรงตึงผิวและค่าความหนืดหมึกพิมพ์ลดลง แต่ไม่มีผลต่อความเป็นกรด-เบสของหมึกพิมพ์ ในด้านคุณภาพส่งพิมพ์ สารลดแรงตึงผิวเพิ่มความมันวาวของสิ่งพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE แต่ลดความมันวาวบน CPP และเพิ่มการทนต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม CPP แต่เมื่อใช้ปริมาณมากเกินไปทำให้การยึดติดบนฟิล์ม CPP ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อการยึดติดบนฟิล์ม LLDPE และยังเพิ่มความกระด้ากระด่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

5.1.5 สูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ดีที่สุดสำหรับพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE และ CPP

สูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ดีที่สุดสำหรับพิมพ์บนฟิล์ม LLDPE คือ สูตรที่ 2 และสูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ดีที่สุดสำหรับพิมพ์บนฟิล์ม CPP คือ สูตรที่ 9

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทำมาตรฐานหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีตามมาตรฐาน ISO 2846-5
2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ เช่น ชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งประเภทอื่น ๆ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุดา เกียรติกำจรวงค์ และ สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์. 2551. ปฏิบัติการเคมีทางภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ภาษาอังกฤษ

American Chemical Society. 2001. [Online] Available from : http://pubs.acs.org/subscribe/archive/tcaw/10/i05/html/05comp.html. Washington, DC: Charles Seiter, [2011, September]

American label group. 2011. [Online] Available from: http://www.americanlabel.com/algweb/exp_flexo.asp. American label group. [2011, September]

ASTM D3359-09. 2009. Standard test methods for measuring adhesion by tape test. ASTM committee D01 on paint and related coating, materials, and applications and are the direct responsibility of subcommittee D01.23 on physical properties of applied paint film. United States: ASTM International.

ASTM D5264. 1998. Standard practice for abrasion resistance of printed material by the Sutherland rub tester. ASTM D-10 on Packaging and is the direct responsibility of subcommittee D10.14 on tapes and labels. United States: ASTM International.

Choo J. 1993. Criteria on the selection of a slip additive. American Ink Maker July 71(7): 15.

Gudim L. I. and Klimenko L. P. 1974. [Online] Available from : Http://www.springerlink.com/content/P33662204477w132/ . New York: a division of Plenum publisning corporation. [2011, September]

Herbst W. Hunger K. Wilker G.Ohleier H. and Winter R. 2004. Industrial Organic Pigments Product, Properties, Application. 3rd ed. Darmstadt: Wiley-VCH Verlag GmbH,

Hill R.M. 1999. Silicone Surfactants. New York: Madison Avenue.

ISO 2813. 1994. Paints and varnishes-Determination of specular gloss of non-metalic paint flim at 20° 60° and 85°. Technical committee ISO/TC 35, Paints and

varnishes, subcommittee SC 9, General test methods for painta and varnishes. Switzerland: International Organization for Standard.

Kipphan. 2001. Handbook of print media : technologies and production methods. Germany: springer-Verlag Berlin Heidelberg,

Madbouly S.A. and Otaigbe J.U. 2009. Recent advances in synthesis, characterization and rheological properties of polyurethanes and POSS/polyurethane nanocomposites dispersions and films. Progress in Polymer Science 34: 1283.

Magruder A. 1991. Flushes for paste inks: part II the dispersion process. American Ink Maker July 69(7): 36.

Medina S.W. 1994. Using Surfactants to Formulate VOC Compliant Waterbase Inks. American Ink Maker 72: 32.

Meiron T.S. and Saguy I.S. 2007. Wetting properties of food packaging. Food Research International (40): 653.

Leach R.H., Armstrong C. Brown J.F. Mackenzie M.J. Randall L. and Smith H.G. 1998. The Printing Ink Manual 4 th ed., London: Van Nostrand Reinhold,

Patton T.C. 1979. Paint flow and pigment dispersion : a rheological approach to coating and ink technology. 2nd Ed. Darmstadt: Wiley-VCH Verlag GmbH.

Podhajny R.M. 1991. What's new in non-acrylic polymers. American Ink Maker February 69(2): 10.

Pretsch E. Buhlmann P. and Badertscher M. 2009. Structure determination of organic compounds: tables of spectral Data 4th ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg,

Rentzhog M. 2006. Water-based Flexographic Printing on Polymer-Coated Board, Doctoral thesis Chemical Science and Engineering Royal Institute of Technology.

Schnall M. 1987. Additives for printing inks. American Ink Maker December 65(12): 58.

Sen G. 1987. Resins for water-based inks: color development/grinding. American Ink Maker December 65(12): 37.

Sisson T.M. Teska D.A. and Fischer S.A. 2000. Acrylic polymer emulsions for adhesion to low energy substrates. American Ink Maker August 78(8): 44.

The Adhesive and Sealant Council. 2010. [Online] Available from: http://www.ramehart.com/contactangle.htm. ramé-hart instrument. [2011, September]

Tsirovasiles J. 1986. The Use of Water-Born Urethane Polymers in Printing Inks. American Ink Maker 59: 59.

Urban D. and Takamura K. 2002. Polymer dispersions and their industrial application. Darmstadt: Wiley-VCH Verlag GmbH,

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ นางสาวจิตราพร ศรีทอง เกิดวันที่ 2 เดือน มีนาคม พ.ศ.2530 ที่โรงพยาบาลลานนา จังหวัดเชียงใหม่ เป็นบุตรของนายจำลอง ศรีทอง และนางสมพร ศรีทอง มีพี่น้องรวมสามคน

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ. 2547 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีอ่างทอง จังหวัดอ่างทอง

ปี พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง “ผลของอัตราส่วนสารสีต่อสารยึดพอลิยูรีเทนดัดแปรต่อการเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสำหรับการพิมพ์ OPP” ในการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ/นานาชาติ ครั้งที่ 1 เรื่อง การศึกษาเชิงสร้างสรรค์ จัดโดยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ณ ศูนย์มนุษยวิทยาสิรินธร ระหว่างวันที่ 10-11 พฤษภาคม 2554