

การเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซซึ่งรูปภาพโดยใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์สำหรับการพิมพ์กระดาษเหนียว

นาย ธีศิษฐ์ วราภาสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF BIO FLEXO-INK USING POLYLACTIDE BINDER
FOR KRAFT PAPER PRINTING

Mr. Teesit Varapaskul

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 2008
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมหมึกพิมพ์เพล็กซ์สีชีวภาพโดยใช้สารยี่ดพอลิแล็ก
ไทด์สำหรับการพิมพ์กระดาษเหนียว

โดย

นาย ธิศิษฐ์ วราภาสกุล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. สิริวรรณ พัฒนาฤดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. สิริวรรณ พัฒนาฤดี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประसार)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. โสภี สงวนดีกุล)

ชื่ศึกษา วรรณภาสกุล : การเตรียมหมึกพิมพ์ฟлексโซกราฟีโดยใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์สำหรับการพิมพ์กระดาษเหนียว. (PREPARATION OF BIO FLEXO-INK USING POLYLACTIDE BINDER FOR KRAFT PAPER PRINTING) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. สิริวรรณ พัฒนาฤดี, 118 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์ฟлексโซกราฟีที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์สำหรับการพิมพ์กระดาษเหนียว สารยึดพอลิแล็กไทด์ที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลในขณะเตรียมอิมัลชัน ทำให้สารยึดมีขนาดอนุภาค ความหนืด และอุณหภูมิสภาพแก้วลดลง ส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีความเรียบมากขึ้น เมื่อนำสารยึดไปผสมในหมึกพิมพ์ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 10, 20 และ 30 พบว่าสมบัติการไหลของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร เป็นแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด เมื่อใช้ปริมาณของสารสีเพิ่มขึ้น หมึกพิมพ์มีความหนืดและแรงตึงผิวสูงขึ้น โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความหนืดและแรงตึงผิวต่ำกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เมื่อนำหมึกพิมพ์ไปทดสอบพิมพ์และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารสีสูงขึ้น ค่าความดำ ค่าเม็ดสกรีนบวม และความมันวาว มีค่าเพิ่มขึ้น แต่สมบัติด้านความต้านทานการถนอมผิวลดลง และหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลให้คุณภาพงานพิมพ์ เช่น ค่าความดำ ค่าเม็ดสกรีนบวม คุณภาพเส้น ความสม่ำเสมอ และความมันวาวที่ดีกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล แต่มีสมบัติด้านความต้านทานการถนอมผิวต่ำกว่า หมึกพิมพ์ที่เตรียมมีสมบัติการทนต่อการขัดถูที่ดีมาก นอกจากนี้ เมื่อนำหมึกพิมพ์สีกราฟีที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ปริมาณสารสีร้อยละ 30 เปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์ฟлексโซทางการค้า พบว่าหมึกพิมพ์ฟлексโซกราฟีที่เตรียมได้มีความสม่ำเสมอและความต้านทานต่อการถนอมผิวของงานพิมพ์ที่ดี ขณะที่ค่าความดำและความมันวาวของงานพิมพ์ต่ำกว่าหมึกพิมพ์ฟлексโซทางการค้า ส่วนค่าเม็ดสกรีนบวม และคุณภาพเส้นของงานพิมพ์ มีผลที่ใกล้เคียงกัน

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2551.....

5072311423 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: BIO FLEXO-INK / POLYLACTIDE BINDER / KRAFT PAPER

TEESIT VARAPASKUL : PREPARATION OF BIO FLEXO-INK USING POLYLACTIDE BINDER FOR KRAFT PAPER PRINTING. ADVISOR : SIRIWAN PHATTANARUDEE, Ph.D.,118 pp.

This study aimed to prepare bio-flexo ink using polylactide binder for kraft paper printing. Particle size of the polylactide binder prepared was smaller than 1 μm . By adding polyethylene glycol during binder preparation, it resulted in a decrease in particle size, viscosity, and T_g of emulsion, which influenced on smoothness of film. Bio-flexo inks containing polylactide binders were prepared at various pigment to binder ratios (10:90, 20:80, and 30:70) and characterized. Viscosity of the inks exhibited a shear-thinning behavior. When the pigment content in the inks was increased, viscosity and surface tension were also enhanced. It was due to more interactions between pigment and binder. The inks containing binder with PEG yielded a lower viscosity and surface tension compared to the inks containing binder without PEG. The printed quality was investigated. The results showed that the pigment content was found to directly correlate to the print density, dot gain and print gloss, while adhesion between ink and paper depended on the content of the binder. The ink with PEG binder clearly dominated in printing quality but gave less adhesion property. The inks prepared also gave very good rub resistance. Quality of the printed paper was compared between the bio-flexo ink prepared at 30:70 of pigment to binder ratio and a commercial ink. It was found that the bio-flexo ink showed better printing quality and picking resistance than the commercial ink, whereas a lower in density and gloss were obtained. The results of dot gain and line quality were similar.

Department : Imaging and Printing..... Student's Signature

Field of Study : Imaging Technology..... Advisor's Signature

Academic Year 2008.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากหลายๆฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สิริวรรณ พัฒนาคดี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่นอกจากจะกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาที่ดี และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว ยังช่วยอบรมสั่งสอน บ่มนิสัย และให้กำลังใจ กระผม

ขอขอบพระคุณเงินทุนวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2551 ภายใต้โครงการบรรจุกฎบัตรกระดาษจากปาล์มน้ำมัน

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุจิตรา สื่อประสาร ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาในทุกๆ เรื่อง และกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ต้นฉบับให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.อรัญญา หาญสืบสาย ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ต้นฉบับให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. โสภี สงวนดีกุล จากธนาคารแห่งประเทศไทย ที่ช่วยกรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ต้นฉบับให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำสั่งสอนที่ดีเสมอมา
ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการดำเนินงานต่างๆ ให้ผ่านไปได้อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณ บริษัท คลาเรียนท์ เคมิคอลส (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สารสี เพื่อใช้ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท สยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์กระดาษเหนียว เพื่อใช้ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท โตโยอิงค์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์หมึกพิมพ์ เพื่อใช้ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท อีเทอนอล ซากาตะ อิงค์ จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบการขจัดกาว ในการวิเคราะห์ผลของงานวิจัย

นอกจากนี้ขอขอบคุณ นางสาวดวงกมล ถนนมศักดิ์ศรี ที่ช่วยเหลือ เป็นกำลังใจที่ดี และอยู่เคียงข้าง กระผมเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ
สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ และ น้องชาย สำหรับครอบครัวที่อบอุ่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ (ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ (ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สารบัญรูป	ฏ
บทที่ 1: บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	3
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย	3
บทที่ 2: เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ (degradable polymers)	5
2.2 พอลิแล็กไทด์ (polylactide)	8
2.3 หมึกพิมพ์สำหรับระบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟี	9
2.3.1 สารให้สี (colorant)	9
2.3.2 ตัวพา (vehicle)	10
2.4 ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี	11
2.5 กระดาษลูกฟูก (corrugated board)	14
2.6 การถ่ายโอนและการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ (ink transfer and ink setting)	15
2.7 คุณภาพงานพิมพ์ที่สำคัญในระบบเฟล็กโซกราฟีบนกระดาษลูกฟูก	16
2.7.1 ความดำ (print density)	16
2.7.2 ความมันวาว (print gloss)	16
2.7.3 เม็ดสกรีนบวม (dot gain)	17

2.7.4 ความกระดำกระด่าง (mottle).....	20
2.7.5 ความต้านทานทานการขัดถู (rub resistance)	20
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3: วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	24
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	26
3.3.1 เตรียมสารยัดชีวภาพพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	26
3.3.2 ตรวจสอบสมบัติของสารยัดชีวภาพพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน.....	26
3.3.3 ตรวจสอบสมบัติของสารสี	27
3.3.4 เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่ใช้สารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	28
3.3.5 ศึกษาสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพ	28
3.3.6 ทดสอบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี่ ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพบนกระดาษเหนียว	28
3.3.7 ศึกษาคุณภาพของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพบนกระดาษเหนียว	29
3.3.8 การเตรียมงานพิมพ์พิมพ์ด้วยเครื่อง RK Coater บนกระดาษเหนียว	30
3.3.9 ศึกษาคุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยเครื่อง RK Coater.....	30
3.3.10 ตรวจสอบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า	32
3.3.11 ทดสอบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี่ ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า.....	32
3.3.12 ศึกษาคุณภาพของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า.....	32
3.3.13 การเตรียมงานพิมพ์จากหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าด้วยเครื่อง RK Coater.....	32
3.3.14 ศึกษาคุณภาพงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า.....	32
บทที่ 4: ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	33
4.1 สมบัติของสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	33
4.1.1 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	33
4.1.2 ขนาดของอนุภาคสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน.....	35
4.1.3 ความหนืดของสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน.....	36
4.1.4 ค่าศักย์ซีต้า อุณหภูมิสภาพแก้ว และร้อยละของน้ำหนักของสารยัดพอลิแล็กไทด์ อิมัลชัน	37
4.1.5 พลังงานผิวของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	38
4.1.6 ภาพถ่าย SPM ของแผ่นฟิล์มจากสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	39

4.2 ผลการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสารสีสีดำที่ใช้	42
4.3 ผลการตรวจสอบค่าเม็ดสกรีนบวมของแม่พิมพ์เพล็กโซกราฟี	44
4.4 สมบัติของหมึกพิมพ์เพล็กโซชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	45
4.4.1 ความเหนียวของหมึกพิมพ์เพล็กโซชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	45
4.4.2 แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	49
4.4.3 ขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	50
4.4.4 ร้อยละของของแข็งของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	51
4.5 คุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เพล็กโซชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน	52
4.5.1 ค่าความต่ำของงานพิมพ์	52
4.5.2 ค่าเม็ดสกรีนบวมและคุณภาพเส้นของงานพิมพ์	53
4.5.3 ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์	62
4.5.4 ความมันวาวของงานพิมพ์	69
4.5.5 สมบัติความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์	72
4.5.6 สมบัติความต้านทานการขีดถูขณะแห้งของงานพิมพ์	75
4.6 การเปรียบเทียบหมึกพิมพ์เพล็กโซชีวภาพที่กับหมึกพิมพ์เพล็กโซทางการค้า	78
4.6.1 สมบัติของหมึกพิมพ์เพล็กโซชีวภาพกับหมึกพิมพ์เพล็กโซทางการค้า	78
4.6.2 คุณภาพงานพิมพ์ระหว่างงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เพล็กโซชีวภาพกับหมึกพิมพ์ เพล็กโซทางการค้า	80
บทที่ 5: สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	90
รายการอ้างอิง	93
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก	97
ภาคผนวก ข	106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	118

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าศักย์ซีต้า อุณหภูมิสภาพแก้ว และร้อยละของน้ำหนักสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน.....	38
ตารางที่ 4.2 พลังงานผิวส่วนมีหัวและไม่มีหัวของแผ่นฟิล์มจากสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันสามชนิด	38
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของความขรุขระของผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน.....	41
ตารางที่ 4.4 ขนาดอนุภาค ค่าศักย์ซีต้า และร้อยละของของแข็งของสารสีดำ.....	43
ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์สีภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณสารสีต่างๆ.....	50
ตารางที่ 4.6 ขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์สีภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณสารสีเดียวกัน	50
ตารางที่ 4.7 ร้อยละของเนื้อหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดและปริมาณสารสีแตกต่างกัน.....	51
ตารางที่ 4.8 ค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงดึงผิวกับความหนืด	57
ตารางที่ 4.9 ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 10 20 และ 30	59
ตารางที่ 4.10 การแผ่ของเส้นขนาดต้นฉบับ 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก	61
ตารางที่ 4.11 การแผ่ของเส้นขนาดต้นฉบับ 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....	62
ตารางที่ 4.12 ความแตกต่างของความเข้มสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 12 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)	76
ตารางที่ 4.13 ความแตกต่างความเข้มสีระหว่างงานพิมพ์ก่อนและหลังขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร(ความหนาขณะเปียก).....	77
ตารางที่ 4.14 ความแตกต่างสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 12 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)	77

ตารางที่ 4.15 ความแตกต่างสีระหว่างงานพิมพ์ก่อนและหลังตัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึด
จากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสี
ร้อยละ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร(ความหนาขณะเปียก)..... 77

ตารางที่ 4.16 แรงดึงผิวและร้อยละของเนื้อหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซ
ทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว 79

ตารางที่ 4.17 ค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงดึงผิวกับความหนืด 81

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบการแผ่ของหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซ
ทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว บนงานพิมพ์เส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่แรง
กดแตกต่างกัน..... 84

ตารางที่ 4.19 ค่าความแตกต่างของความเข้มสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการตัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึก
พิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บน
กระดาษเหนียว..... 88

ตารางที่ 4.20 ค่าความแตกต่างสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการตัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซ
ชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว 89

สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพประเภทของพอลิเอสเทอร์	7
รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิแล็กไทด์	8
รูปที่ 2.3 หลักการพิมพ์พินนูน	11
รูปที่ 2.4 หน่วยพิมพ์เฟล็กโซกราฟี	13
รูปที่ 2.5 ผิวบ่อหมึกในลูกกลิ้งแอนนิลอก	13
รูปที่ 2.6 การวัดความมันวาวที่มุมต่างๆ	17
รูปที่ 2.7 ภาพด้านบนของการขยายขนาดของเม็ดสกรีนทั้งแบบเชิงกายภาพและเชิงแสง	18
รูปที่ 2.8 กระบวนการการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง โดยที่เส้นที่บคือ แสงที่ส่งผลต่อการเกิดเม็ดสกรีน บวมเชิงแสง เส้นขาดคือ แสงที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง	19
รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า.....	33
รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า.....	34
รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า.....	34
รูปที่ 4.4 การกระจายของขนาดอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล และชนิด เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10	35
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชันกับอัตราเฉือน	36
รูปที่ 4.6 ภาพ SPM ของผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยัดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ใช้เวลาในการ แห้งตัว (ก) 1 วัน และ (ข) 7 วัน.....	39
รูปที่ 4.7 ภาพ SPM ของผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยัดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ใช้เวลา ในการแห้งตัว (ก) 1 วัน และ (ข) 7 วัน	40
รูปที่ 4.8 ภาพ SPM ของผิวหน้าของแผ่นฟิล์มสารยัดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ใช้เวลา ในการแห้งตัว (ก) 1 วัน และ (ข) 7 วัน	40
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายอนุภาคของสารสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	42
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของสารสีดำ	43
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนของต้นฉบับกับพื้นที่เม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์	44

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....	45
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	46
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	47
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	47
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....	48
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารสีที่ใช้กับค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน.....	49
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารสีที่ใช้กับค่าความค้ำของงานพิมพ์ เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน.....	53
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	54
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	55
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	55

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เมื่อดสกรีนกับค่าเมื่อดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก..... 56

รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายเมื่อดสกรีนของงานพิมพ์จากเครื่อง FlexoDot เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลอัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เมื่อดสกรีนร้อยละ (ก)10 (ข) 20 และ (ค)30..... 58

รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายเมื่อดสกรีนของงานพิมพ์จากเครื่อง FlexoDot เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เมื่อดสกรีนร้อยละ (ก)10 (ข) 20 และ (ค)30..... 58

รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายเมื่อดสกรีนของงานพิมพ์จากเครื่อง FlexoDot เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เมื่อดสกรีนร้อยละ (ก)10 (ข) 20 และ (ค)30..... 58

รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ (ก)10 (ข)20 และ (ค)30 โดยน้ำหนัก 60

รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน (ก)ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (ข)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ (ค)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก..... 61

รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ (ก)10 (ข)20 และ (ค)30 ที่ความหนา 12 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเป็ยก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า 64

รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา (ก)4 (ข)12 และ (ค)24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเป็ยก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า 65

รูปที่ 4.30 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน (ก)ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10 (ข)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ (ค)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเป็ยก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า 66

รูปที่ 4.31 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ (ภาพตัดขวาง) เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิ แล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความ หนา (ก)4 (ข)12 และ (ค)24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า.....	67
รูปที่ 4.32 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ (ภาพตัดขวาง) เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิ แล็กไทด์อิมัลชัน (ก)ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10 (ข)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลค ลร้อยละ 5 และ (ค) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า.....	68
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีกับความมันวาวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก).....	70
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีกับความมันวาวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก).....	71
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีกับความมันวาวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก).....	71
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความมันวาวของงานพิมพ์กับปริมาณสารสีในหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึด จากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร ที่อัตราส่วน ของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก.....	72
รูปที่ 4.37 แผนภูมิความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพ ลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)	73
รูปที่ 4.38 แผนภูมิความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพ ลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)	73
รูปที่ 4.39 แผนภูมิความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพ ลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)	74

รูปที่ 4.40 ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)	75
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว	78
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดพิมพ์กับค่าความต้านทานของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว.....	80
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วย (ก)หมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) และ (ข)หมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่แรงกดพิมพ์แตกต่างกัน	82
รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดเต็มพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก)150 N (ข)250 N (ค)350 N และ (ง)450 N.....	83
รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียวด้วยแรงกดพิมพ์ (ก)150 N (ข)250 N (ค)350 N และ (ง)450 N.....	83
รูปที่ 4.46 ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก)หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเต็มพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 และ (ข)หมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก).....	85
รูปที่ 4.47 ภาพถ่าย SEM ภาพตัดขวางของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก)หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเต็มพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 และ (ข)หมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก).....	85
รูปที่ 4.48 ความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนาหมึกพิมพ์ต่างๆ.....	86
รูปที่ 4.49 ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนาของหมึกพิมพ์ต่างๆ	87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการตื่นตัวเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์เริ่มหันมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น หมึกพิมพ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลือง และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ ซึ่งวัสดุชีวภาพเป็นวัสดุที่เป็นทางเลือกทดแทนวัสดุแบบดั้งเดิมที่ได้จากปิโตรเคมีภัณฑ์ โดยวัสดุชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัสดุจากธรรมชาติ สามารถปลูกทดแทนได้เร็ว สามารถย่อยสลายได้ดี และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการทางชีวภาพ หรือสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีจากสารตั้งต้นจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาล แป้ง หรือน้ำมันพืช โดยหนึ่งในวัสดุชีวภาพที่รู้จักกันดีที่สุดคือพอลิแล็กไทด์ (polylactide) ที่ผลิตได้จากแป้งหรืออ้อย มีลักษณะใสและมันวาวเหมือนพอลิสไตรีน (polystyrene) มีความต้านทานน้ำมันและสมบัติการกันขวางที่ดี แต่มีความแข็งและเปราะ ดังนั้นเมื่อนำมาใช้จึงต้องการการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้ในแต่ละงานตัวอย่างเช่น การเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่น

หมึกพิมพ์ชีวภาพเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นเช่น หมึกพิมพ์ที่มีส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลือง มีข้อดีเนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปลอดภัย และง่ายต่อการรีไซเคิลกระดาษ ระบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นระบบพิมพ์ที่ใช้หมึกเหลวและแม่พิมพ์พื้นฐานที่มีความยืดหยุ่น สามารถพิมพ์ได้บนวัสดุพิมพ์หลากหลายชนิด เช่น พอยล์ พลาสติก และกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งระบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นระบบพิมพ์ที่มีข้อดีกับสิ่งแวดล้อมคือ สามารถพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายได้ ทำให้ช่วยลดการปล่อยไอระเหยของตัวทำละลายสู่สิ่งแวดล้อมที่มาจากการใช้หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย โดยเทคนิคการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมพิมพ์กระดาษลูกฟูก เนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่ไวไฟ และสามารถแห้งตัวได้เร็บบนวัสดุที่ดูดซับได้ดี กล่องกระดาษลูกฟูกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากราคาถูก น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรง ประกอบไปด้วยสองส่วน ส่วนแรกคือไลเนอร์ เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดและ

สัมพันธ์กับหมึกพิมพ์ เป็นกระดาษผลิตจากกระบวนการซัลเฟตเรียกว่ากระดาษเหนียว ส่วนที่สองคือ มีเดียม ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับกระดาษลูกฟูก

คุณภาพงานพิมพ์บนกระดาษลูกฟูกที่สำคัญประกอบไปด้วย ค่าความดำ ค่าเม็ดสกรีนบวม ความมันวาว และความสม่ำเสมอของงานพิมพ์ โดยที่คุณภาพงานพิมพ์เหล่านี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติของหมึกพิมพ์แล้วยังขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์และกระดาษ ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์และกระดาษยังเป็นเหตุผลสำคัญต่อสมบัติของงานพิมพ์อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยสนใจศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพสำหรับการพิมพ์กระดาษเหนียว โดยเตรียมสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันสามชนิด ตรวจสอบลักษณะเฉพาะและสมบัติของสารยัดซีวภาพที่ได้ เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพโดยนำสารยัดซีวภาพมาใช้ที่อัตราส่วนของสารสีต่อสารยัดแตกต่างกัน ตรวจสอบสมบัติของหมึกพิมพ์แล้วนำไปทดสอบการพิมพ์บนกระดาษเหนียว ตรวจสอบวัดคุณภาพงานพิมพ์ จากนั้นเปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ซีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์ทางการค้าสำหรับการพิมพ์บนกระดาษเหนียว โดยผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพสำหรับระบบเฟล็กโซกราฟีที่ให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนสารสีต่อสารยัดพอลิแล็กไทด์ ในหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์บนกระดาษเหนียว

1.2.2 ศึกษาสมบัติของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ และคุณภาพงานพิมพ์บนกระดาษเหนียว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการเตรียมสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันสามชนิดที่มีปริมาณการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในปริมาณที่แตกต่างกัน ตรวจสอบลักษณะเฉพาะและสมบัติของสารยัดซีวภาพที่ได้ เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพโดยนำสารยัดซีวภาพมาใช้ที่อัตราส่วนของสารสีต่อสารยัดแตกต่างกันคือ 10:90 20:80 และ 30:70 โดยน้ำหนัก ตรวจสอบสมบัติของหมึกพิมพ์แล้วนำไปทดสอบการพิมพ์บนกระดาษเหนียว ตรวจสอบวัดคุณภาพงานพิมพ์ เช่น ค่าความดำ ค่าเม็ดสกรีนบวม คุณภาพของเส้น ความมันวาว ความกระด้างกระด่าง และสมบัติความต้านทาน เป็นต้น จากนั้น

เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์ทางการค้าสำหรับการพิมพ์บนกระดาษเหนียว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้หมึกพิมพ์ฟลิกโซชีวภาพที่ใช้สารยัดจากพอลิแล็กไทด์ที่ให้คุณภาพงานพิมพ์บนกระดาษเหนียวที่ดี

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 จัดเตรียมเครื่องมือ สารเคมี และอุปกรณ์

1.5.3 เตรียมสารยัดชีวภาพพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน และตรวจสอบลักษณะเฉพาะและสมบัติของสารยัดที่เตรียมได้

1.5.4 เตรียมหมึกพิมพ์ฟลิกโซชีวภาพที่ปริมาณสารสีแตกต่างกัน และตรวจสอบสมบัติของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้

1.5.5 ทดสอบพิมพ์ และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์

1.5.5 เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์ทางการค้าสำหรับการพิมพ์บนกระดาษเหนียว

1.5.6 วิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้ สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1.6.1 ผลการศึกษาสมบัติของสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

1.6.2 ผลการศึกษาสมบัติของหมึกพิมพ์ฟลิกโซชีวภาพที่เตรียมได้ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

1.6.3 ผลการศึกษาคุณภาพของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้บนกระดาษเหนียว

1.6.4 เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ ระหว่างงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซซึ่งภาพที่เตรียมได้ กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ (degradable polymers)

คุณค่าทางเศรษฐกิจเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ต้องพิจารณา นอกจากปัญหาด้านอัตราการบริโภค และการกำจัดขยะพลาสติก ราคาของปิโตรเลียมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน และมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต อันเนื่องมาจากหลักการตลาดของอุปสงค์และอุปทาน เนื่องจากปริมาณปิโตรเลียมสำรองในธรรมชาติลดลง แต่กระบวนการเกิดขึ้นใหม่ตามธรรมชาติต้องใช้เวลาอันยาวนาน ๖๖ปีในการทับถมของซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งไม่สอดคล้องกับอัตราการบริโภคที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด ดังนั้น จึงมีการคาดหมายว่าปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องจะหมดไปจากโลกภายในเวลาอีกไม่เกิน 100 ปีข้างหน้า สาเหตุเหล่านี้ จึงเป็นปัจจัยที่ผลักดันให้เกิดการศึกษาค้นคว้าเพื่อผลิตวัสดุที่มีสมบัติทางกายภาพเทียบเคียงกับพลาสติก แต่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่ไม่ได้มาจากปิโตรเลียม กล่าวคือ ใช้วัตถุดิบทดแทน (renewable) ที่มีวงจรการผลิตค่อนข้างสั้น เช่น ผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น และสมบัติที่สำคัญคือ สามารถย่อยสลายได้ โดยเรียกพอลิเมอร์หรือพลาสติกเพื่อวัตถุประสงค์นี้ว่า พลาสติกชีวภาพ ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตได้หลายชนิด หากแบ่งตามกลไกการสลายตัวสามารถจำแนกได้ดังนี้ [1]

- Biodegradable คือ พอลิเมอร์ที่สลายตัวได้โดยการใช้เอนไซม์ จากจุลินทรีย์ในการตัดสายโซ่แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารโมเลกุลเล็กที่มีตามธรรมชาติ เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น
- Compostable จัดเป็นพอลิเมอร์ชนิด Biodegradable ซึ่งการสลายตัวเกิดขึ้นแบบจำเพาะ โดยการหมักที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส
- Hydro-biodegradable พอลิเมอร์ที่สลายตัวได้โดยการสลายพันธะเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (hydrolysis)
- Photo-biodegradable พอลิเมอร์ที่สลายตัวได้เมื่อได้รับพลังงานจากแสง

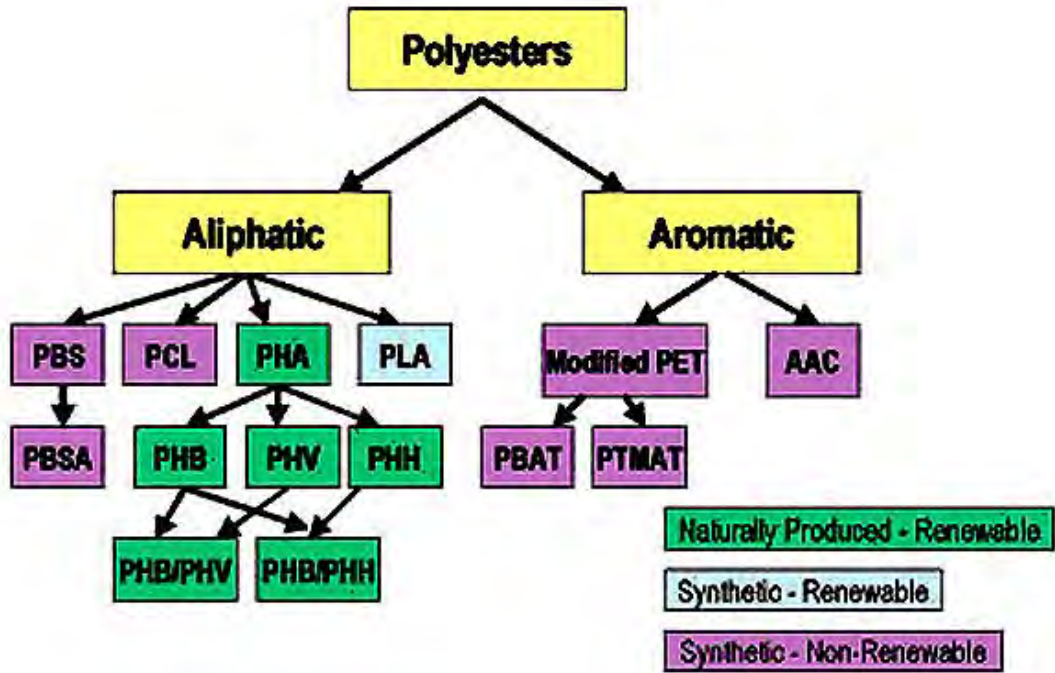
- Bioerodable พอลิเมอร์ที่สลายตัวได้โดยไม่ต้องพึ่งพาสุนัขจิ้งจอก โดยจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมีต่างๆ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น

ปัจจุบันมีพลาสติกชีวภาพ 2 ประเภทหลักที่มีการศึกษาวิจัย และนำมาผลิตใช้ประโยชน์ คือ พอลิเมอร์ประเภทที่มีส่วนผสมของแป้ง (polysaccharide) และพอลิเอสเทอร์ (polyesters) โดยพอลิเมอร์ประเภทแรกเกิดจากการผสมพอลิเมอร์บางชนิด เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งที่เกิดจากการเรียงต่อกันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic) โดยใช้อัตราส่วนผสมได้ตั้งแต่ 10-90 % ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งหากส่วนผสมของแป้งมากกว่า 60% จะทำให้พลาสติกผสมสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หากส่วนผสมต่ำกว่า 60% ส่วนผสมที่เป็นแป้งจะทำหน้าที่เป็นจุดที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมให้มีขนาดเล็กลง ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกับแป้ง เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเอสเทอร์ เป็นต้น โดยก่อนกระบวนการผสมอาจมีการปรับปรุงคุณภาพของแป้งที่ใช้โดยกระบวนการทางเคมีก่อน เพื่อให้มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมก่อนก็ได้

ส่วนพอลิเอสเทอร์ จัดเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้เนื่องจากประกอบด้วยพันธะเอสเทอร์อยู่ในสายโซ่เป็นจำนวนมาก ซึ่งพันธะนี้สามารถแตกตัวได้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (hydrolysis) ดังนั้นจึงสามารถย่อยสลายเป็นสารโมเลกุลเล็กลงได้ ซึ่งพอลิเอสเทอร์ยังสามารถจำแนกตามส่วนประกอบของสายโซ่เป็น 2 ประเภท คือ แอลิฟาติก (aliphatic) และ แอโรแมติก (aromatic) พอลิเอสเทอร์ ในปัจจุบันมีการผลิตพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ในกลุ่มนี้หลายชนิด (รูปที่ 2.1) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ประเภท แอลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ เนื่องจากสายโซ่มีความเหมาะสมต่อการสลายพันธะดีกว่า ในส่วนของ แอโรแมติกพอลิเอสเทอร์ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะสมขึ้น โดยอาจต่อสายโซ่กับแอลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ ให้เป็นโคพอลิเมอร์ (aliphatic-aromatic copolyester) ก่อนจึงจะสามารถย่อยสลายได้

แอลิฟาติกพอลิเอสเทอร์สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ คือ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (polybutylene succinate, PBS), พอลิคาโพรแลคโตน (polycaprolactone, PCL), พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (polyhydroxyalkanoates, PHA), พอลิแล็กติก (polylactic acid, PLA) ซึ่ง 2 ชนิดแรกได้จากมอนอเมอร์จากปิโตรเคมี ส่วนพอลิแล็กติกใช้วัตถุดิบทดแทนแต่ยังคงอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์สายโซ่ของพอลิเมอร์ในขั้นตอนสุดท้าย ในขณะที่พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท เป็นพอลิเมอร์กลุ่มเดียวที่กระบวนการสังเคราะห์ทั้งหมดเกิดขึ้นในจุลินทรีย์ ในปัจจุบันมีนำพอลิเมอร์เหล่านี้มาใช้ในการค้าโดยมีผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดบ้างแล้วคือ พอลิแล็กติก ที่สามารถนำไปทดแทนพลาสติก

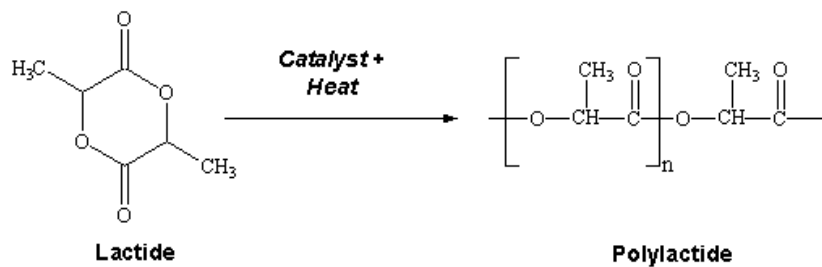
ประเภทบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ถุงพลาสติก เป็นต้น โดยพอลิเมอร์ชนิดนี้สังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่เป็นแป้ง เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบ โดยต้องนำแป้งมาผ่านกระบวนการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้ มอนอเมอร์ คือ กรดแล็กติก (lactic acid) จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ แต่ข้อจำกัดของพอลิแล็กไทด์ คือไม่คงรูปเมื่อได้รับความร้อนสูง ส่วนอีกชนิดคือพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท ที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่า เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermal forming) โดยพอลิเมอร์ชนิดนี้มีอนุพันธ์หลายชนิดด้วยกันดังแผนภาพ ส่วนใหญ่สามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงโดยจากสารจำพวกแป้งและน้ำตาล แล้วได้เป็นสายโซ่ยาวของพอลิเมอร์ โดยการใช้จุลินทรีย์ตลอดกระบวนการ จึงเรียกพอลิเมอร์ประเภทนี้ว่า พอลิเมอร์จุลินทรีย์ (microbial polymers) [2]



รูปที่ 2.1 แผนภาพประเภทของพอลิเอสเทอร์ [3]

2.2 พอลิแล็กไทด์ (polylactide)

พอลิแล็กไทด์เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเตอร์ โดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรเป็นสารตั้งต้นในการผลิตผ่านกระบวนการหมัก เพื่อให้ได้กรดแล็กติกแล้วจึงผ่านกระบวนการเปิดวงแหวนของแล็กไทด์มอนอเมอร์ และพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นหรือการเปิดวง พอลิแล็กไทด์มีอุณหภูมิสภาพแก้ว (glass transition temperature, T_g) 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature, T_m) อยู่ในช่วง 150-170 องศาเซลเซียส พอลิแล็กไทด์ มีลักษณะใส สามารถกักคลื่น และรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมัน และไขมันสูง สามารถกันการแพร่ผ่านของแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ พอลิแล็กไทด์สามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก พอลิแล็กไทด์มีความคงทนต่อการกระแทก (impact strength) ต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพีวีซีที่ไม่มีการเติมพลาสติกไซเซอร์ มีความแข็ง ความคงทนต่อการกระแทก และความยืดหยุ่น ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต นอกจากนี้พอลิแล็กไทด์ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิโพรพิลีน และสามารถนำไปปรับปรุงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน หรือพอลิโพรพิลีนได้ ดังนั้นพอลิแล็กไทด์จึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูป และการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี [4-5]



รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิแล็กไทด์ [6]

2.3 หมึกพิมพ์สำหรับระบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

หมึกพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ สารให้สี สารยึด และตัวทำละลาย หมึกพิมพ์มีลักษณะเป็นหมึกเหลวและมีความหนืดต่ำ แห้งตัวด้วยการระเหย โดยที่การเลือกความหนืดของหมึกพิมพ์จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น แรงแกดพิมพ์ ความเร็ว วัสดุที่ใช้พิมพ์ ชนิดของระบบควบคุมปริมาณหมึก อุณหภูมิ ตัวทำละลายที่ใช้ และความหนาของชั้นหมึกที่ต้องการ ปกติแล้วหมึกพิมพ์ฐานน้ำของระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนิยมใช้ในการพิมพ์กระดาษกล่อง เนื่องจากไม่ไวไฟและสามารถแห้งตัวได้เร็วกว่าวัสดุพิมพ์ที่ดูดซับได้ดี สารยึดที่ใช้ต้องสามารถกระจายในน้ำได้ดีในขณะที่เป็นหมึกพิมพ์ แต่เมื่อพิมพ์ลงในวัสดุพิมพ์และแห้งตัวแล้วต้องไม่ละลายน้ำ ซึ่งสารยึดที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ คาร์บอกซิเลตอะคริลิก (carboxylated acrylics) [7]

หมึกพิมพ์ฐานน้ำมีข้อดีหลายประการ เนื่องจากหมึกพิมพ์มีอัตราการระเหยต่ำ ส่งผลให้มีเสถียรภาพที่ดีและความหนืดคงที่ นอกจากนี้ยังเป็นตัวทำละลายที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแม่พิมพ์พอลิเมอร์ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่ไวไฟ และไม่ก่อกลิ้ง โดยหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมกับการพิมพ์จะต้องมีสมบัติต่างๆ [8] ดังนี้

- ให้ความเข้มสีที่ดี
- ทนการขัดถู
- สามารถพิมพ์ได้ดี
- ไม่เป็นอันตรายต่อเครื่องพิมพ์ ผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม
- ราคาเหมาะสม

โดยทั่วไปหมึกพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

2.3.1 สารให้สี (colorant)

สารให้สีซึ่งเป็นของแข็งของหมึกพิมพ์ มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก ขนาดเป็นไมครอนแขวนลอยกระจายอยู่ในตัวพาหมึก ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหมึกพิมพ์ เป็นส่วนที่ทำให้หมึกพิมพ์เกิดสีขึ้น ให้ภาพมีความชัดเจน มีความเบี่ยงต่างกับวัสดุใช้พิมพ์ และมีผลต่อคุณสมบัติของหมึกพิมพ์หลายประการ เช่น ความเหนียว (tack) ความหนืด (viscosity) และการไหล (flow) ของหมึก

พิมพ์ สารสียังเป็นตัวกำหนดว่าหมึกพิมพ์นั้นจะมีลักษณะโปร่งแสงใสหรือทึบแสง ความทนทานต่อแสงหรือความมันวาว ความทนทานต่อความร้อนหรือต่อน้ำ [9]

การผลิตหมึกพิมพ์เพ็ล็กโซมีการใช้ทั้งสีย้อมซึ่งสามารถละลายได้ในตัวพา หรือ สารสีซึ่งไม่สามารถละลายได้ในตัวพา ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้หมึกพิมพ์ฐานสารสี เนื่องจากทำให้หมึกพิมพ์มีประสิทธิภาพดีกว่า แต่การเลือกสารสีนั้นต้องเลือกใช้สารสีที่มีขนาดไม่มากกว่าความยาวคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) นอกจากนี้ยังคงมีการผลิตหมึกพิมพ์ที่ใช้สีย้อมขึ้นอยู่กับลักษณะของงานเท่านั้น

โดยสารให้สีนั้นอาจได้มาจากทั้งธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้น อาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เพื่อให้การผลิตหมึกพิมพ์มีประสิทธิภาพดีต้องคำนึงถึงความสามารถในการกระจายตัวของสารสี เนื่องจากความสามารถในการกระจายตัวจะส่งผลต่อความหนืด สมบัติการไหลของหมึก สี ความมันวาว ความแข็งแรง และความทนทานต่อการขัดถู โดยการใช้สารสีต่างชนิดกันอาจมีผลกับการใช้ตัวพาต่างกัน [10]

2.3.2 ตัวพา (vehicle)

ส่วนที่เป็นตัวพาจะประกอบด้วย เรซินหรือสารยึด ตัวทำละลาย และสารเติมแต่งต่างๆ ตัวพาทำหน้าที่นำพาสารสีไปติดอยู่บนวัสดุใช้พิมพ์ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติต่างๆ กับหมึกพิมพ์ เช่น การถ่ายโอน การแห้งตัว (setting) ความมันวาว การทนทานต่อการขัดถู ซึ่งการเลือกใช้ตัวพาต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการพิมพ์หรือการนำไปใช้ โดยต้องคำนึงถึงสมบัติของสิ่งพิมพ์ที่ต้องการ

2.3.2.1 สารยึด (binder)

หน้าที่หลักของสารยึดคือ เป็นสารยึดยึดให้หมึกพิมพ์ติดบนผิวหน้าของวัสดุใช้พิมพ์และทำหน้าที่สร้างแผ่นฟิล์มเพื่อป้องกันสารให้สีหลุดลอก ซึ่งสารยึดส่งผลต่อสมบัติการไหล ความสามารถในการกระจายตัวของสารสี และความเหนียวหนืดของหมึก (tackiness)

ในกระบวนการพิมพ์หมึกพิมพ์ฐานน้ำ สารยึดจะต้องทำหน้าที่รักษาความชอบน้ำของหมึกพิมพ์ ในขณะที่เมื่อเข้ากระบวนการแห้งตัวหลังพิมพ์แล้วสารยึดต้องมีสมบัติไม่ชอบน้ำ สารยึดโดยทั่วไปถูกผลิตขึ้นให้มีลักษณะเป็นสารประกอบคอลลอยด์ นิยมใช้เป็นพวก acrylic resins ซึ่งข้อดีของเรซินชนิดนี้คือให้ความมันวาวสูงและ การเปียกผิวของสารสีและการพิมพ์ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ

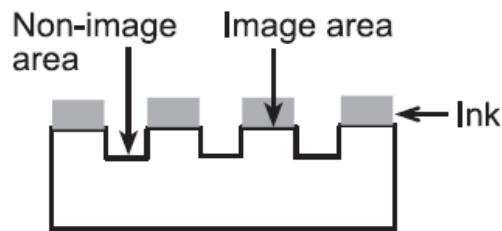
alkali resin จะมีข้อเสียกว่าในด้านความทนทาน ปัจจุบันนิยมใช้เรซินประเภท acrylics ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็ก หลังกระบวนการพิมพ์ อนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นชั้นหมึกพิมพ์ที่ให้ภาพพิมพ์ที่ดี และมีสมบัติการทนทาน ซึ่งกระบวนการเกิดจะไม่ได้เกิดขึ้นทันทีแต่จะต้องใช้เวลาเพื่อให้มีสมบัติการทนทานที่ดีที่สุด

2.3.2.2 สารเติมแต่ง

ในการผลิตหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีการนำสารเติมแต่งหลายชนิดมาใช้ โดยสารที่นิยมใช้มากได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (surfactants) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้การกระจายตัวของสารสีดีขึ้น แต่มีผลเสียทำให้เกิดฟองในหมึกซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการพิมพ์ ดังนั้นจึงมีการเติมสารลดฟอง (foam controller) เพื่อควบคุมปริมาณการเกิดฟองในหมึกพิมพ์ นอกจากนี้ในหมึกพิมพ์ฐานน้ำยังต้องคำนึงถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยมีการใช้สารกลุ่มเอมีน (amines) เป็นตัวควบคุม สารเติมแต่งอื่นๆที่ใช้ในหมึกพิมพ์อาจเป็นกลุ่มขี้ผึ้ง (waxes) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยให้หมึกพิมพ์มีความสามารถในการทนทานการขัดถูได้ดีขึ้น โดยในกระบวนการแห้งตัวขี้ผึ้งจะเคลื่อนมายังผิวหน้า ทำให้อาจต้องใช้เวลาในการแห้งตัวมากขึ้น [11]

2.4 ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นระบบการพิมพ์ที่พัฒนามาจากระบบการพิมพ์เลตเตอร์เพลส ซึ่งใช้หลักการแม่พิมพ์พื้นนูนที่หมึกพิมพ์จะมาอยู่บริเวณด้านบนของแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการพิมพ์พื้นนูน [12]

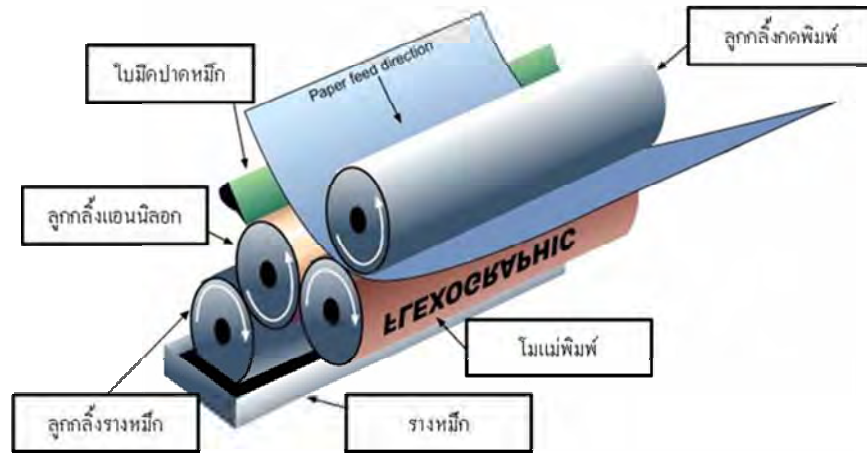
ในระยะแรกเรียกกระบวนการพิมพ์นี้ว่าระบบการพิมพ์แอนิลาย (aniline printing) เนื่องจากใช้ สารสีแอนิลายในหมึกพิมพ์ที่เป็นอนุพันธ์ของน้ำมันถ่านหิน ซึ่งต่อมาพบว่าเป็นสารพิษจึงไม่สามารถใช้ ในการพิมพ์บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร [13] จึงได้มีการพัฒนาระบบการพิมพ์ต่อมา และในปี ค.ศ. 1952 จึงได้เปลี่ยนชื่อเป็นระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี โดยมีการพัฒนาทั้งในด้านสีพิมพ์ ระบบการ พิมพ์ เครื่องพิมพ์ และการพัฒนาการระบบแม่พิมพ์จากแม่พิมพ์ยางเป็นแม่พิมพ์พอลิเมอร์ ซึ่งเป็นการ ปรับปรุงคุณภาพของงานพิมพ์ ทำให้มีใช้งานระบบการพิมพ์นี้กว้างขวางมากขึ้น [14]

ลักษณะที่สำคัญของระบบการพิมพ์นี้คือเป็นการใช้แม่พิมพ์พอลิเมอร์ ถ่ายอินหมึกเหลวจาก รางหมึกผ่านระบบควบคุมปริมาณหมึก (metering system) ไปยังแม่พิมพ์ที่มีความหยุ่นตัวและวัสดุ ใช้พิมพ์ตามลำดับด้วยแรงกดพิมพ์ที่ไม่มากนัก (kiss impression) การพิมพ์ลักษณะนี้ถูกพัฒนามาใช้ ในงานพิมพ์ด้านบรรจุภัณฑ์อย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถพิมพ์บนกล่องลูกฟูกหรือวัสดุที่ผิวหน้าที่ ขรุขระได้ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาคุณภาพทางการพิมพ์เพิ่มขึ้นและนำไปใช้ในงานพิมพ์หนังสือพิมพ์ อีกด้วย [15] ซึ่งความหลากหลายและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนี้ จะเห็นได้จากการออกแบบ โครงสร้างเครื่องพิมพ์ การพัฒนาระบบลูกกลิ้งแอนนิลอก เทคโนโลยีระบบควบคุมปริมาณหมึก และ ขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ เป็นต้น

ปัจจุบันการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีข้อเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบพิมพ์อื่นๆ ด้วยเหตุผลหลาย ประการ ดังนี้

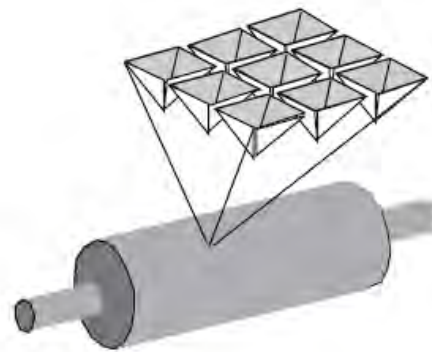
- หมึกพิมพ์มีทั้งแบบฐานตัวทำละลาย และฐานน้ำ
- หมึกพิมพ์ได้รับการพัฒนาให้สามารถพิมพ์บนวัสดุได้หลากหลายยิ่งขึ้น เช่น พลาสติก และฟอยล์
- ลูกกลิ้งแอนนิลอกพัฒนาความละเอียดมากถึง 1500 เส้นต่อนิ้ว ทำให้พิมพ์งานที่ละเอียดถึง 300-400 เส้นต่อนิ้ว เนื่องจากเทคนิคการเจาะร่องลึกด้วยเลเซอร์

หลักการทั่วไป หน่วยพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 4 ลูก ได้แก่ ลูกกลิ้งรางหมึก ลูกกลิ้งแอนนิลอก (anilox cylinder) โมแม่พิมพ์ (printing cylinder) และลูกกลิ้งกดพิมพ์ (impression cylinder) [16] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หน่วยพิมพ์เฟล็กโซกราฟี [17]

โดยลูกกลิ้งรางหมึกจะทำด้วยยางทำหน้าที่นำหมึกในรางไปให้ลูกกลิ้งแอนนิลอก ซึ่งหมุนด้วยแรงกดสัมผัสระดับหนึ่ง ทำให้เกิดการรีดหมึกให้มีปริมาณที่ถ่ายโอนได้ ซึ่งความเร็วของลูกกลิ้งในรางหมึกจะช้ากว่าลูกกลิ้งแอนนิลอกเพื่อให้เกิดการรีดเอาหมึกส่วนเกินออกไปได้ ลูกกลิ้งแอนนิลอกเป็นลูกกลิ้งที่ทำด้วยโลหะเคลือบด้วยโครเมียมหรือเซรามิก ผิวเป็นบ่อหมึกหลุมเล็กๆ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผิวบ่อหมึกในลูกกลิ้งแอนนิลอก [12]

บ่อหมึกจะถูกออกแบบมาให้มีลักษณะพิเศษให้มีปริมาตร (cm^3/m^2) และลักษณะสกกรีน (line/cm) ที่เหมาะสม เพื่อทำหน้าที่รับหมึกจากลูกกลิ้งรางหมึกและถ่ายโอนไปยังวัสดุใช้พิมพ์ และเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนที่มีประสิทธิภาพ นิยมใช้ลูกกลิ้งแอนนิลอกที่มีสกกรีนมากกว่าสกกรีนของแม่พิมพ์ ประมาณ 5.5 เท่า [18] โดยความหนาของชั้นหมึกพิมพ์จะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมปริมาณหมึก

ซึ่งมีหลายชนิด เช่น ระบบลูกกลิ้ง 2 ลูก ระบบใบมีดปาด และระบบแชมเบอร์ หมึกพิมพ์ที่มีความหนาตามต้องการจะถูกถ่ายโอนไปที่แม่พิมพ์ และวัสดุพิมพ์ ตามลำดับ

2.5 กระดาษลูกฟูก (corrugated board)

กระดาษลูกฟูกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากราคาที่ไม่แพงและลักษณะวิธีของการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน ซึ่งจุดประสงค์หลักของการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกคือป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกภายนอก โดยกล่องกระดาษลูกฟูกต้องมีความแข็งแรงมากและน้ำหนักเบา สามารถรองรับวัสดุที่มีน้ำหนักมากได้ ทัวไปแล้วกระดาษลูกฟูกจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นกระดาษบอร์ด (paper board) เรียกว่า ไลเนอร์ (liner) อยู่ส่วนนอกสุดของกระดาษกล่องลูกฟูก และมีเดียม (medium) มีลักษณะเป็นลอนอยู่ภายใน ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับกระดาษลูกฟูก [19]

มีเดียม (medium) ผลิตจากเยื่อใยสั้น มีความยืดหยุ่นมากกว่าไลเนอร์ ปกติแล้วผลิตจากเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง (hardwood fiber) ด้วยกระบวนการซัลไฟต์ (sulfite process) เรซินที่ใส่ลงในเยื่อช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งแรงของกระดาษขณะเปียก (wet strength) และความยืดหยุ่น ทำให้มีเดียมมีความยืดหยุ่นไม่แตกหักได้ง่าย ลักษณะของมีเดียมที่ดีต้องมีความแข็งแรง (strength) ความแกร่ง (stiffness) มาก แต่น้ำหนักเบา สามารถต้านทานแรงจากภายนอกที่กระทบกระดาษกล่องลูกฟูกได้

ไลเนอร์ (liner) เป็นส่วนนอกของกระดาษกล่องลูกฟูก ผลิตจากเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน (softwood) ด้วยกระบวนการซัลเฟต (sulfate process) โดยการผลิตไลเนอร์ เครื่องที่ใช้จะแตกต่างจากเครื่องผลิตกระดาษปกติทั่วไป คือใช้เครื่องที่มีหัวจ่ายน้ำเยื่อ (headbox) 2 หัว หัวแรกจะจ่ายน้ำเยื่อประมาณร้อยละ 80 ลงไปที่ตะแกรงเป็นเยื่อที่บดน้อยมีความแข็งแรงมาก ส่วนหัวที่สองจ่ายน้ำเยื่อประมาณร้อยละ 20 ลงบนผ้าสักกะหลาด โดยจะเป็นเยื่อที่บดมาก ส่งผลให้ได้ความเรียบมากกว่าเยื่อแบบแรก

สมบัติที่สำคัญของกระดาษลูกฟูกเมื่อนำไปใช้คือ สมบัติการต้านแรงทะลุจากแรงที่มากกระทำ โดยค่านี้อาจบ่งบอกถึงความเหนียวของกระดาษ และสมบัติการต้านแรงกดคือสามารถต้านทานแรงกดทับจากกล่อง เนื่องจากการขนส่งสินค้าต้องมีการซ้อนสินค้าทับกันเป็นจำนวนมาก ความแข็งแรงของกระดาษลูกฟูกนอกจากจะขึ้นกับกระบวนการผลิตกระดาษและโครงสร้างกระดาษแล้ว ยังขึ้นกับการออกแบบจำนวนและขนาดของมีเดียมและไลเนอร์ โดยสามารถจำแนกได้ 2 แบบ แบบแรกแบ่งตาม

จำนวนของมีเดียและไลเนอร์ เช่น กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (single face) กระดาษลูกฟูก 1 ชั้น (single wall) กระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (double wall) และกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (triple wall) แบบที่สอง แบ่งตามขนาดของมีเดีย โดยเรียงขนาดลอน (flute) จากใหญ่ไปเล็กได้คือ เอ (A) ซี (C) บี (B) อี (E) เอฟ (F) และจี (G) ตามลำดับ

2.6 การถ่ายโอนและการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ (ink transfer and ink setting)

ปริมาณของหมึกพิมพ์ที่ถ่ายโอนสู่วัสดุพิมพ์เป็นเหตุผลสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายโอนและการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ โดยความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลอก แรงกดพิมพ์ และสมบัติของหมึกพิมพ์ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนและการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี นอกจากนี้ความเร็วในการแห้งตัวของหมึกพิมพ์และลักษณะผิวหน้าของวัสดุพิมพ์ก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพงานพิมพ์ เช่น ความมันวาว ซึ่งความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลอกเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ โดยถ้าความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลอกต่ำ จะสามารถถ่ายโอนหมึกพิมพ์ได้ปริมาณมากกว่าความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลอกสูง โดยการเลือกความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลอกต้องสัมพันธ์กับแรงกดพิมพ์ที่ใช้ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และชนิดของวัสดุพิมพ์ด้วย

หลังจากหมึกพิมพ์ถ่ายโอนสู่วัสดุพิมพ์แล้ว การดูดซับของวัสดุพิมพ์และการระเหยของตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ เป็นกระบวนการแห้งตัวที่สำคัญของการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนกระดาษ โดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์กับวัสดุพิมพ์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งการแห้งตัวของหมึกพิมพ์สามารถแบ่งได้เป็นสามรูปแบบคือ รูปแบบแรก หมึกพิมพ์แห้งตัวแบบไม่สมบูรณ์ (ink set) ทดสอบได้ด้วยการใช้นิ้วสัมผัสงานพิมพ์ (touch-dry) รูปแบบสองการแห้งตัวเชิงกายภาพ (physic drying) และรูปแบบสุดท้ายการแห้งตัวเชิงเคมี (chemical drying) ซึ่งเป็นการแห้งตัวแบบสมบูรณ์ โดยสองขั้นตอนแรกเป็นการแห้งตัวที่เกิดจากกระบวนการระเหยของตัวทำละลายในหมึกพิมพ์และการดูดซับของวัสดุพิมพ์ ซึ่งสามารถเกิดได้รวดเร็ว แต่กระบวนการการแห้งตัวเชิงเคมีจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่า เนื่องจากเป็นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของเรซินและน้ำมันต่างๆ [20]

2.7 คุณภาพงานพิมพ์ที่สำคัญในระบบเฟล็กโซกราฟีบนกระดาษลูกฟูก

2.7.1 ความดำ (print density)

ความดำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของคุณภาพงานพิมพ์ ถ้าค่าความดำต่ำ ส่งผลให้งานพิมพ์มีสีซีดจาง (pale) ค่านี้บอกถึงความแตกต่างระหว่างภาพที่พิมพ์กับวัสดุที่ใช้พิมพ์ โดยค่าความดำที่แท้จริงหาได้จากผลต่างของค่าความดำระหว่างภาพพิมพ์กับวัสดุที่ไม่มีการพิมพ์ สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีบนกระดาษลูกฟูก ต้องการให้ค่าความดำของภาพพิมพ์สูงโดยใช้แรงกดพิมพ์น้อยที่สุด หรือเรียกว่าแรงกดพิมพ์ที่ไม่มากนัก (kiss impression) นอกจากนี้จะต้องสามารถเพิ่มการถ่ายโอนหมึกให้มากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกดพิมพ์ โดยภาพพิมพ์เกิดการบิดเบี้ยว (distortion) น้อยที่สุด และไม่ทำความเสียหายต่อแกนกลาง (medium) ของกระดาษลูกฟูก [21] ค่าความดำจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิมพ์ที่ความหนาชั้นหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น [12] ซึ่งปกติแล้วค่าความดำวัดได้จากเครื่องวัดค่าความดำ (densitometer) ที่คำนวณจากอัตราส่วนของความเข้มแสงที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงกับความเข้มแสงที่สะท้อนจากผิวหน้างานพิมพ์ ดังสมการที่ 1

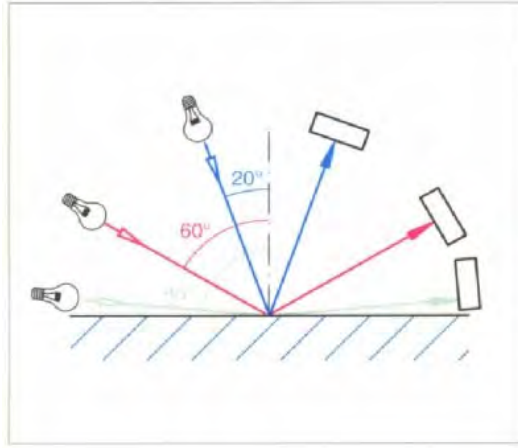
$$D = \log \frac{I_0}{I_1} \quad (1)$$

โดยที่ I_0 คือ ความเข้มของแสงที่สะท้อนจากวัสดุพิมพ์

I_1 คือ ความเข้มของแสงที่สะท้อนจากงานพิมพ์

2.7.2 ความมันวาว (print gloss)

ความมันวาวคือความเข้มของแสงที่สะท้อน (intensity of reflected light) บริเวณผิวหน้าจากความเข้มแสงของแสงที่ตกกระทบที่มุมต่างๆ



รูปที่ 2.6 การวัดความมันวาวที่มุมต่างๆ [22]

การวัดความมันวาวที่มุม 20 องศา ใช้สำหรับวัสดุที่มีความมันวาวสูง ส่วนที่มุม 60 และ 75 องศา นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและงานพิมพ์ ซึ่งความมันวาวเป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะของผิวหน้าของงานพิมพ์ โดยค่าความมันวาวนอกจากจะขึ้นอยู่กับหมึกพิมพ์แล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้พิมพ์อีกด้วย สำหรับกระดาษลูกฟูกแล้วความเข้มสี และความมันวาวของงานพิมพ์บนกล่องสินค้า เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยดึงดูดการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้ซื้อ [23]

2.7.3 เม็ดสกรีนบวม (dot gain)

เม็ดสกรีนบวมหาได้จากขนาดหรือรูปร่างของเม็ดสกรีนบนภาพพิมพ์ที่เพิ่มขึ้นจากเม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์ ค่าเม็ดสกรีนบวมที่มากจะส่งผลให้ความเปรียบต่างของงานพิมพ์มีค่าลดลง เนื่องจากสูญเสียรายละเอียดของภาพบางส่วนไป โดยค่าเม็ดสกรีนบวมสามารถแบ่งตามสาเหตุการเกิดได้สองประเภทคือ เม็ดสกรีนบวมเชิงกายภาพ (physical dot gain) และเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง (optical dot gain) ซึ่งค่านี้มีความสำคัญมากต่อการควบคุมคุณภาพของบาร์โค้ดสำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีบนกระดาษลูกฟูก [23] ในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีการขยายขนาดของเม็ดสกรีนส่วนใหญ่เกิดจากแรงกดพิมพ์ในบริเวณจุดสัมผัสพิมพ์ (printing nip) นอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้พิมพ์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ที่มีการบีบอัดของแม่พิมพ์ในบริเวณจุดสัมผัสพิมพ์ ส่งผลให้เม็ดสกรีนของงานพิมพ์ที่ผลิตได้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยขนาดของเม็ดสกรีนจริงบนงานพิมพ์ที่เปลี่ยนไปจากต้นฉบับเรียกว่า ค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงกายภาพ ส่วนขนาดของเม็ดสกรีนบนงานพิมพ์ที่

เปลี่ยนไปจากต้นฉบับเนื่องจากการกระเจิงของแสงภายในกระดาษเรียกว่า ค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง (รูปที่ 2.7)

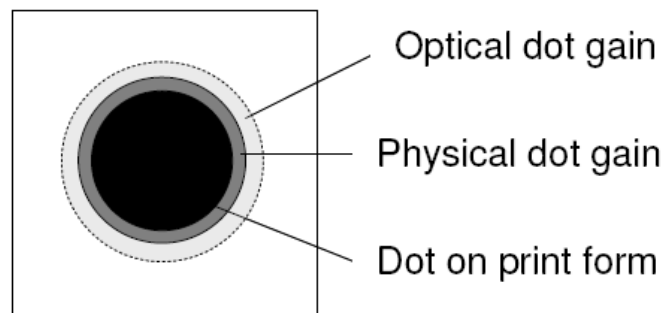
โดยค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงกายภาพและเชิงแสง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ของ Murray-Davies

$$F_D (\%) = \frac{1 - 10^{-D_R}}{1 - 10^{-D_V}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ D_R คือ ค่าความดำของงานพิมพ์ที่บริเวณเม็ดสกรีน (half tone)

D_V คือ ค่าความดำของงานพิมพ์ที่บริเวณพื้นตาย (solid tone)

ค่าเม็ดสกรีนบวมหาได้จากผลต่างของพื้นที่เม็ดสกรีนของที่คำนวณได้กับพื้นที่เม็ดสกรีนของแม่พิมพ์



รูปที่ 2.7 ภาพด้านบนของการขยายขนาดของเม็ดสกรีนทั้งแบบเชิงกายภาพและเชิงแสง [23]

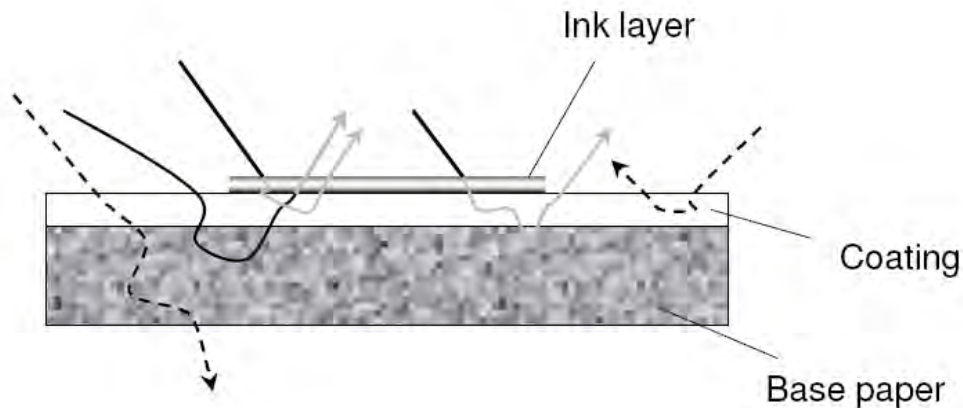
2.7.3.1 ค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงกายภาพ (physical dot gain)

เหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงกายภาพมีสองประการคือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแม่พิมพ์ที่เกิดจากแรงกดพิมพ์บริเวณจุดสัมผัสพิมพ์ และการแผ่ของหมึกพิมพ์ (ink spreading) บนผิวหน้าของวัสดุพิมพ์ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ เมื่อหมึกพิมพ์ถ่ายโอนสู่วัสดุพิมพ์แล้ว การแผ่ของหมึกพิมพ์จะมีผลต่อขนาดของเม็ดสกรีนบนงานพิมพ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปียกผิว (wettability) ของหมึกพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ โดยค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงกายภาพคือ ขนาดจริงของเม็ดสกรีนบนงานพิมพ์ที่เปลี่ยนไปจากต้นฉบับ ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ สมบัติทางกายภาพและเคมีของหมึกพิมพ์และกระดาษ โดยความสามารถในการดูดซับหมึกพิมพ์ของกระดาษเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเท่ากับแรงกดพิมพ์ที่ใช้ ซึ่งเมื่อพิมพ์ที่แรงกดพิมพ์มาก

ส่งผลให้ค่าเม็ดสกรีนบวมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิมพ์ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์มากขึ้น ค่าเม็ดสกรีนบวมสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณหมึกพิมพ์ที่ถ่ายโอนสู่กระดาษมีมากกว่า โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าค่าเม็ดสกรีนบวมในบริเวณมิดโทน (mid-tone) ถึงบริเวณเงา (shadow) มีความสำคัญต่อการใช้งานมากกว่าบริเวณไฮไลต์ (high light) เนื่องจากการพิมพ์สอดสีในบริเวณมิดโทน-เงา จะมีการซ้อนทับกันของเม็ดสกรีน (overlapping dot) หนาแน่น [23]

2.7.3.2 ค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง (optical dot gain)

ค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง เกิดจากการกระเจิงแสงภายในวัสดุพิมพ์ โดยแสงกระเจิงอยู่ในวัสดุพิมพ์ และบางส่วนถูกดูดกลืนอยู่ในหมึกพิมพ์ ส่งผลให้พื้นที่ของเม็ดสกรีนที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสงคือ สมบัติการกระเจิงของแสงและความโปร่งแสงของหมึกพิมพ์ จากรูปที่ 2.8 การสะท้อนแสงบริเวณผิวหน้าของเม็ดสกรีนไม่ส่งผลต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง



รูปที่ 2.8 กระบวนการการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง โดยที่เส้นที่บคือ แสงที่ส่งผลต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง เส้นขาดคือ แสงที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง [23]

ความหนา ความเป็นเนื้อเดียว (homogeneity) และคุณภาพของผิวหน้ากระดาษ มีความสำคัญต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง โดยที่กระดาษที่มีความหนามาก เมื่อนำมาใช้พิมพ์ มีแนวโน้มเกิดค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงแสงสูง นอกจากนี้ ระดับการซึมของหมึกพิมพ์ลงสู่กระดาษ มีผลต่อการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสง โดยหมึกพิมพ์ที่สามารถซึมลงสู่กระดาษได้ดีก็มากกว่า สามารถลดการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสงได้ [23] ค่าเม็ดสกรีนบวมเชิงแสงจะเกิดมากในบริเวณไฮไลต์ มากกว่า

บริเวณมิติโทนและบริเวณเงา โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่เม็ดสกรีนต่ำกว่าร้อยละ 30 ซึ่งการตรวจวัดค่าเม็ดสกรีนรวมในบริเวณไฮไลต์ไม่ควรใช้การตรวจวัดและคำนวณด้วยสมการของ Murray-Davies แต่ควรตรวจสอบขนาดของเม็ดสกรีนด้วยการวิเคราะห์ขอบของเม็ดสกรีนจากภาพถ่าย [24]

2.7.4 ความกระจาดำกระต่าง (mottle)

ความกระจาดำกระต่างคือ ความไม่สม่ำเสมอของงานพิมพ์ที่สามารถสังเกตเห็นได้ เกิดจากการถ่ายโอนและการดูดซึมหมึกพิมพ์ที่ไม่ดี ซึ่งนอกจากจะขึ้นอยู่กับวัสดุพิมพ์และหมึกพิมพ์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับสภาวะการพิมพ์ด้วย โดยความกระจาดำกระต่างเกิดมาบนงานพิมพ์ที่พิมพ์บนกระดาษไม่เคลือบผิว เนื่องจากหมึกพิมพ์ดูดซึมลงวัสดุพิมพ์ได้ไม่สม่ำเสมอ และเกิดจากสภาวะการพิมพ์ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้หมึกพิมพ์ถ่ายโอนลงสู่กระดาษได้น้อย สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์ก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งส่งผลต่อความสม่ำเสมอของงานพิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ที่ดีต้องถ่ายโอนจากลูกกลิ้งแอนิลอกสู่แม่พิมพ์ และวัสดุพิมพ์ได้หมดเมื่อผ่านการพิมพ์แล้ว ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปียกผิวของหมึกพิมพ์ นอกจากนี้ ความโปร่งแสงของหมึกพิมพ์ (ink transparency) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความกระจาดำกระต่างบนงานพิมพ์

2.7.5 ความต้านทานทานการขัดถู (rub resistance)

ความต้านทานการขัดถูหรือความต้านทานรอยถลอกคือ ความสามารถของงานพิมพ์ที่เมื่อผ่านการขัดถูแล้ว งานพิมพ์ปราศจากรอยต่าง รอยเปราะเปื้อน และหลุดลอก โดยสมบัตินี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของหมึกพิมพ์และสมบัติของวัสดุพิมพ์ ซึ่งส่วนใหญ่จะตัดสินคุณภาพจากลักษณะของการนำไปใช้ และการยอมรับของลูกค้า การหลุดลอกของงานพิมพ์จากการขัดถูขณะนำไปใช้งานจริงสามารถเกิดได้ในระหว่าง การขนส่ง การเก็บ และการสัมผัส ซึ่งส่งผลที่ไม่ดีต่อความน่าสนใจของสินค้า และอาจผิดกฎหมายได้ ถ้าหลุดลอกในบริเวณที่เป็นข้อมูลสำคัญ [25]

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ma และคณะ [26] ศึกษาการเตรียมอนุภาคพอลิแล็กไทด์ขนาดไมครอนด้วยวิธีการ SPG (shirasu porous glass) เตรียมสารละลายพอลิแล็กไทด์ผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) ในส่วนของน้ำจะประกอบไปด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งการเกิดอิมัลชันของน้ำมันในน้ำทำด้วยวิธี SPG โดยใช้แรงดันจากก๊าซไนโตรเจน ตรวจสอบผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ และความเข้มข้นของพอลิแล็กไทด์ต่อขนาดและลักษณะรูปร่างของอนุภาค โดยความเข้มข้นของพอลิแล็กไทด์ จะใช้ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ถึง 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าอนุภาคที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร สัมประสิทธิ์การกระจายของขนาดจะน้อยลงเมื่อใช้พอลิแล็กไทด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ถึง 15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ผิวของอนุภาคจะเกิดรอยย่นเมื่อใช้พอลิแล็กไทด์ที่ความเข้มข้นต่ำ ขณะที่อนุภาคจะมีผิวเรียบมากขึ้นเมื่อใช้พอลิแล็กไทด์ที่ความเข้มข้นมากขึ้น

Rentzhog และคณะ [27] ศึกษาประสิทธิภาพของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ พิมพ์บนกระดาษกล่องที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ 3 ชนิด ที่ผ่านการปรับผิวหน้าที่ระดับต่างๆ ได้แก่ พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิโพรพิลีนชนิด OPP หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีการเติมอะคริลิกอิมัลชัน 3 ชนิดที่มีสมบัติที่แตกต่างกัน ตรวจสอบความหนืดและแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์แต่ละสูตร นำกระดาษกล่องที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการปรับผิวหน้า มาตรวจสอบพลังงานผิวด้วยการวัดมุมสัมผัสของของเหลว 2 ชนิด (น้ำปราศจากประจุและไดโอดีโอดีเทน) ผลพบว่าคุณภาพงานพิมพ์ ความต้านทานรอยขีดและการทนต่อการขัดถูขณะเปียก มีความสัมพันธ์กับชนิดอะคริลิกอิมัลชันที่ใช้ ซิลิโคน ชนิดของวัสดุพิมพ์ และระดับการปรับผิว ปัญหาของจุดกระดำกระด่างและการยึดติดพบในพอลิโพรพิลีน ขณะที่ปัญหาการทนต่อการขัดถูขณะเปียกและการต้านทานรอยขีดพบมากในพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนชนิด OPP อย่างไรก็ตามชนิดของอิมัลชันที่ใช้ในหมึกพิมพ์มีอิทธิพลมากกว่าระดับการปรับผิวของสารเคลือบ การใส่ซิลิโคนช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานรอยขีด แต่ส่งผลให้สมบัติการทนต่อการขัดถูขณะเปียกลดลง

Olsson และคณะ [28] ศึกษาการคงอยู่ของน้ำ (water retention) ในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีต่อค่าความมันวาวหลังพิมพ์ เตรียมหมึกพิมพ์ผสมสารสีสีดำและสีน้ำเงินกับสารยึดสองชนิด คือ emulsion-polymer binder และ solution-polymer binder ตรวจสอบความหนืด และการคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์ ทำการพิมพ์บนฟิล์มพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบผิว ตรวจสอบความมันวาวและความเรียบของงานพิมพ์ พบว่า พฤติกรรมการไหลของหมึกพิมพ์ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดที่เป็นองค์ประกอบ

ในหมึกพิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ผสม emulsion-polymer binder มีสมบัติการไหลแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด (shear thinning) มากกว่าหมึกพิมพ์ผสม solution-polymer binder แต่การคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์จะขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับชนิดของสารสี และสารยึด นอกจากนี้พบว่า การคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความเรียบและความมันวาวของงานพิมพ์ กล่าวคือ เมื่อการคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์มีมากขึ้น ความเรียบและความมันวาวของงานพิมพ์จะสูงขึ้น ซึ่งค่าทั้งสองเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของงานพิมพ์ที่ดีขึ้น

Mai และคณะ [29] ศึกษาความสัมพันธ์ของวิทยากระแส (rheology) ของหมึกพิมพ์ฐานน้ำ สำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีกับคุณภาพงานพิมพ์ เปรียบเทียบสมบัติการไหล ความหนืด และขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ใช้ทันทีหลังผลิตกับหมึกพิมพ์ที่ผ่านระยะเวลาการเก็บ จากนั้นนำหมึกพิมพ์พิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวน้ำหนักต่ำ (light weight coating paper) ที่ความละเอียด 600 700 และ 800 เส้นต่อนิ้ว ตรวจสอบค่าความดำ (density) ค่าเม็ดสกรีนบวม (dot gain) และความแตกต่างสีของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้ทันทีหลังผลิตกับหมึกพิมพ์ที่ผ่านระยะเวลาการเก็บ จากงานวิจัยนี้พบว่า หมึกพิมพ์ที่ผ่านระยะเวลาการเก็บมีสมบัติการไหลแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด (shear thinning) มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความดำลดลง ค่าเม็ดสกรีนบวมมากขึ้น

Olsson และคณะ [30] ศึกษาผลของความมีขี้ของสารเคลือบต่อคุณภาพงานพิมพ์ และความสัมพัทธ์ระหว่างแรงกดของแม่พิมพ์ต่อค่าเม็ดสกรีนบวม วัสดุพิมพ์มีการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 2 ชนิด ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน และสารยึด 2 ชนิดคือ สไตรีนบิวทาไดอีน และอะครีเลต ที่มีความมีขี้ต่างกัน จากนั้นนำวัสดุพิมพ์ที่ได้ไปทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำในระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีภายใต้แรงกดพิมพ์ระดับต่างๆ ตรวจสอบลักษณะขนาดและรูปร่างของเม็ดสกรีน ค่าความดำ และการถ่ายโอนหมึก ผลการทดลองพบว่า เมื่อวัสดุพิมพ์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบผสมสารยึดสไตรีนบิวทาไดอีนที่มีความมีขี้สูงกว่า ให้ค่าความดำของงานพิมพ์ที่สูงกว่า การถ่ายโอนของหมึกพิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์ชนิดต่างๆ มีค่าเท่ากัน และชนิดของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลต่อค่าความดำเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดสกรีนกับแรงกดพิมพ์เป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง

Mešić และคณะ [31] ศึกษาความต้านทานน้ำและสมบัติทางการพิมพ์ของการใช้สารเคลือบกันซึมชนิดแบ่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งที่นำมาศึกษามี 2 ชนิด คือแบ่งแบบออกซิไดซ์ (oxidised starch) และแบ่งแบบดัดแปรให้ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic modification) โดยค่าระดับของการแทนที่ (degree of substitution) ของแบ่งที่ดัดแปรมีค่าเท่ากับ 0.03 สารเคลือบทั้ง 2 ชนิดถูกเคลือบที่อุณหภูมิห้องและที่ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับลักษณะของแบ่งที่ใช้

โดยสารเคลือบกันซีมีแบบดัดแปรจะมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นำกระดาษที่เคลือบแล้วพิมพ์ด้วยหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ ตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ เช่น ค่าความดำ (density), เม็ดสกปรก (dot gain) และความกระด้าง (mottle) เปรียบเทียบสมบัติทางการพิมพ์กับงานพิมพ์บนกระดาษที่ไม่เคลือบผิว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระดาษที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยแป้งแล้วจะรับหมึกได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความดำสูงกว่าและความกระด้างต่ำกว่ากระดาษไม่เคลือบผิว ส่วนการเปรียบเทียบการใช้สารเคลือบทั้ง 2 ชนิดแสดงให้เห็นว่า สารเคลือบแบบดัดแปรจะให้สมบัติการต้านทานต่อน้ำที่ดีกว่า ความดำสูงกว่า และความกระด้างของงานพิมพ์พื้นตาย (solid area) สูงกว่า โดยเฉพาะเมื่อเคลือบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ส่วนสมบัติของแป้งแบบออกซิไดซ์จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยมากเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. สารสีสีดำ (Clariant Black WF007, Thailand)
2. พอลิแล็กไทด์ (PLA) (Nature work, USA)
3. ไดคลอโรมีเทน (DCM) (Analytical grade, AJAX, Finechem, Australia)
4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (AJAX, Finechem, Australia)
5. พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) (PANREAC SINTESIS, Baelona, Spain)
6. 1-Dodecanol (Fluka, Germany)
7. Dodecyl Sulfate Sodium Salt (MERCK, Germany)
8. กระจาดขเหนียว น้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตร.ม. (Siamkraft, Thailand)
9. แม่พิมพ์เพล็กโซกราฟี (Mae Pim, Thailand)
10. หมึกพิมพ์เพล็กโซสีดำทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระจาดขเหนียว (Aqualox 92 black, Toyo, Thailand)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องทดสอบความหนืด (Brookfield viscometer model DV III , Stroughton, USA)
2. เครื่องทดสอบแรงตึงผิว (Surface tensiometer model K8, Hamberg, Germany)
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JSM-5410LV, JEOL, Japan)
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (JEM-210, Japan)
5. กล้องจุลทรรศน์แบบโพรบกวาด (Scanning Probe Microscope) (Nano Scope V)
6. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus SZH10, Japan)
7. เครื่องทดสอบขนาดอนุภาค (Malvern Instrument, Zetasizer Nano series, Germany)
8. เครื่องทดสอบอุณหภูมิจากแก้ว (Netzesch DSC 204 F1)

9. เครื่องวัดพื้นที่เม็ดสกรีน (X-Rite FlexoDot)
10. เครื่องทดสอบการพิมพ์ (IGT-F1 Laboratory flexo press, Netherland)
11. เครื่องวัดความดำ (IHARA color reflection density R730, Japan)
12. เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) (X-Rite SP62)
13. เครื่องเคลือบผิว (K control coater RK, England)
14. เครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss meter, Micro-gloss 75°) (BYK-Gardner, GMBH, Germany)
15. เครื่องวัดความเรียบ (Bekk Smoothness tester) (Toyoseiki Seisaku LTD, Japan)
16. เครื่องทดสอบการถนอมผิว (IGT REPROTEST B.V., Netherland)
17. เครื่องทดสอบการต้านทานการขัดถู (Rubbing tester RT-200, DAIEI KAGAKU SEIKI, Japan)
18. เครื่องปั่นผสมสาร (Mechanical Stirrer) (RW 20, IKA® Laboratory LABORTECHNIK, Japan)
19. เครื่องชั่งสาร 10 – 220 มิลลิกรัม (AB204-S METTLER TOLEDO, Switzerland)
20. เครื่องชั่งสาร 0.5 – 3100 กรัม (PB3002 METTLER TOLEDO, Switzerland)
21. ตู้อบ (Venticell, Germany)
22. เครื่องวัดความชื้น
23. กล้องถ่ายภาพ NIKON (DSLR D70, japan)

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 เตรียมสารยัดชีวภาพพอลิแล็กไทด์อีมีลชัน

เตรียมสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อีมีลชัน โดยเตรียมพอลิแล็กไทด์เรซินที่ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วน 1.5:1 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของพอลิเมอร์ ผสมลงในสารละลาย ผสมของสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก (ร้อยละ 0.4) และสารสร้างเสถียรภาพ (ร้อยละ 6) ปั่นกวน ด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 20 นาที และปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเพื่อระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เตรียมสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อีมีลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 โดยมีวิธีการเตรียมอีมีลชันเช่นเดียวกันกับการเตรียมสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อีมีลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล

3.3.2 ตรวจสอบสมบัติของสารยัดชีวภาพพอลิแล็กไทด์อีมีลชัน

3.3.2.1 ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

3.3.2.3 ตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคและค่าศักย์ซีต้า

นำสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อีมีลชันมาตรวจสอบด้วยเครื่องทดสอบขนาดอนุภาค (Malvern Instrument, Zetasizer Nano series, Germany)

3.3.2.4 ตรวจสอบความหนืดของสารยัดชีวภาพพอลิแล็กไทด์อีมีลชัน

นำสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อีมีลชันมาตรวจสอบความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer model DV III โดยตรวจวัดความหนืดที่อัตราเฉือน 2.9 ถึง 72.5 s⁻¹ ที่ 25 องศาเซลเซียส

3.3.2.5 ตรวจสอบค่าอุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass transition temperature)

นำสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันมาตรวจสอบอุณหภูมิสภาพแก้วด้วยเครื่อง Netzesch DSC 204 F1 โดยตรวจวัดที่อุณหภูมิ -10 °C ถึง 180 °C อัตราการเพิ่มระดับละ 20 °C/min

3.3.2.6 ตรวจสอบร้อยละของของแข็งของสารยัด (% solids content)

นำสารยัดที่เตรียมได้มาหาร้อยละของน้ำหนักของสารยัดด้วยวิธี gravimetric method

3.3.2.7 ตรวจสอบพลังงานผิวของแผ่นฟิล์มจากสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

นำสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่เตรียมได้ เคลือบบนพลาสติกด้วยเครื่องเคลือบ K control coater ด้วยความเร็ว 0.12 เมตรต่อวินาที (เบอร์ 6) ความหนาหมึกพิมพ์ขณะเป็ยก 80 ไมโครเมตร อบที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที เมื่อได้แผ่นฟิล์มแล้ว ตรวจสอบค่าพลังงานผิวของแผ่นฟิล์มพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน ด้วยวิธีการวัดมุมสัมผัสบนแผ่นฟิล์มด้วยของเหลวสามชนิดได้แก่ น้ำที่ปราศจากประจุ เอทิลีนไกลคอล และไดไอโอดีมีเทน

3.3.2.8 ตรวจสอบความเรียบของแผ่นฟิล์มสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

เตรียมฟิล์มพอลิแล็กไทด์แห้งทิ้งไว้ 1 วัน และ 7 วันตรวจสอบความเรียบของแผ่นฟิล์มที่ได้ด้วยเครื่อง SPM เพื่อศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อเกิดแผ่นฟิล์ม

3.3.3 ตรวจสอบสมบัติของสารสี

3.3.3.1 ตรวจสอบขนาดอนุภาคของสารสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

3.3.3.2 ตรวจสอบขนาดอนุภาคและค่าศักย์ซีต้าของสารสี

3.3.3.3 ตรวจสอบความหนืดของสารสี (pigment dispersion)

3.3.4 เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

นำสารสีสี่ตำผสมกับสารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลแตกต่างกัน ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก จากนั้นปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน จนผสมเข้ากันดี ไม่เห็นการจับกลุ่มก้อน

3.3.5 ศึกษาสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพ

3.3.5.1 ตรวจสอบความหนืดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพ

นำหมึกพิมพ์ซีวีภาพที่เตรียมได้มาตรวจสอบความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer model DV III โดยตรวจวัดความหนืดที่อัตราเฉือน 2.9 ถึง 72.5 s⁻¹

3.3.5.2 ตรวจสอบแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพ

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพที่เตรียมได้ ตรวจสอบแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง Surface tensiometer model K8 ใช้วงแหวน Platinum DuNoüy ที่อุณหภูมิห้อง

3.3.5.3 ตรวจสอบขนาดอนุภาคและค่าศักย์ซีต้าของหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพ

3.3.6 ทดสอบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ด้วยหมึกพิมพ์ซีวีภาพบนกระดาษเหนียว

3.3.6.1 ตรวจสอบค่าเม็ดสกรีนบวมของแม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี

นำแม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี ที่มีความหนา (thickness) 1.7 มิลลิเมตร ความละเอียด 85 เส้นต่อนิ้ว และค่าร้อยละเม็ดสกรีน 10% ถึง 100% โดยแต่ละระดับเพิ่มขึ้นระดับร้อยละ 10% มาตรวจสอบพื้นที่ของเม็ดสกรีนของแม่พิมพ์ (tone value) ด้วยเครื่อง X-Rite FlexoDot จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดสกรีนแม่พิมพ์ที่เพิ่มขึ้นต่อไป

3.3.6.2 วิธีการทดสอบการพิมพ์

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีวภาพที่เตรียมได้ทำการทดสอบพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีโดยใช้เครื่อง IGT F1 Testing Systems บนกระดาษเหนียว โดยใช้แม่พิมพ์ที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจากข้อ 3.3.6.1 และลูกกลิ้งแอนิลอกความละเอียด 152 เส้นต่อนิ้ว ปริมาตรการเก็บหมึกพิมพ์ของลูกกลิ้งแอนิลอก (ink volume) 16 ml/m^2 ที่สภาวะการพิมพ์ใช้แรงกดลูกกลิ้งแอนิลอก 200 นิวตัน แรงกดพิมพ์ 350 นิวตัน และความเร็วในการพิมพ์ 0.3 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิห้อง

3.3.7 ศึกษาคุณภาพของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ซีวีวภาพบนกระดาษเหนียว

3.3.7.1 ตรวจสอบค่าความดำของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์ที่ได้มาตรวจวัดค่าความดำ ด้วยเครื่อง IHARA color reflection density R730 ที่บริเวณพื้นตายและบริเวณพื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 50 โดยค่าความดำที่วัดได้เป็นค่าผลต่างของค่าความดำบริเวณภาพและบริเวณไม่ใช่ภาพ

3.3.7.2 ตรวจสอบค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์ที่ได้มาตรวจวัดค่าเม็ดสกรีนบวม ด้วยเครื่อง IHARA color reflection density R730 เลือกใช้สมการของ Murray-Davies (จากสมการที่ 2) โดยวัดงานพิมพ์บริเวณพื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 10 และ 90 คำนวณหาค่าเม็ดสกรีนบวมจากผลต่างของพื้นที่เม็ดสกรีนที่วัดได้กับพื้นที่เม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์

นำงานพิมพ์บริเวณพื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 10 20 30 มาตรวจวัดด้วยเครื่อง FlexoDot เพื่อหาพื้นที่เม็ดสกรีนที่ได้จากการคำนวณจากขอบของเม็ดสกรีน

3.3.7.3 ตรวจสอบคุณภาพเส้นของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์แบบเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มาตรวจวัดขนาดของเส้นที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ Olympus SZH10

3.3.7.4 ตรวจสอบความกระด้างต่างของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์บริเวณพื้นตาย มาถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ Olympus SZH10

3.3.8 การเตรียมงานพิมพ์พิมพ์ด้วยเครื่อง RK Coater บนกระดาษเหนียว

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซสีม่วงที่เตรียมได้ พิมพ์ด้วยเครื่อง RK Coater พิมพ์ด้วยความเร็ว 0.12 เมตรต่อวินาที (เบอร์ 6) ที่ความหนาหมึกพิมพ์ขณะเป็ยก 4 12 และ 24 ไมโครเมตร ลงบนกระดาษเหนียว จากนั้นอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที

3.3.9 ศึกษาคุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยเครื่อง RK Coater

3.3.9.1 ตรวจสอบความมันวาวของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์ที่ได้ที่ความหนาขณะเป็ยก 4 12 และ 24 ไมโครเมตร มาตรวจสอบความมันวาวด้วยเครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss meter, Micro-gloss 75°)

3.3.9.2 ตรวจสอบลักษณะของผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีม่วง ที่ความหนาแตกต่างกัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3.9.3 ตรวจสอบความเรียบของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์ที่ได้ที่ความหนาขณะเป็ยก 4 12 และ 24 ไมโครเมตร มาตรวจสอบความเรียบด้วยเครื่องวัดความเรียบ (Bekk Smoothness tester)

3.3.9.4 ตรวจสอบสมบัติความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์ที่ความหนาแตกต่างกัน มาทดสอบการถอนผิวด้วยเครื่อง IGT REPROTEST B.V. ตามมาตรฐาน IGT AIC 2-5 การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นารทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้าวัสดุ โดยระยะเริ่มถอนผิวจะถูกนำไปคำนวณร่วมกับความเร็วในการทดสอบและความหนืดของน้ำมันทดสอบ (92 Pa s) คำนวณหาค่าความต้านทานการถอนผิวโดยใช้สมการที่ 3 และ 4

$$V_p = 0.005 \times V_e \times D \quad (3)$$

โดย V_p = ความเร็วในการถอนผิว (เมตรต่อวินาที)

V_e = ความเร็วสุดท้ายที่เลือกใช้ (เมตรต่อวินาที)

D = ระยะทางที่เริ่มถอนผิว (เมตร)

คำนวณหาค่า VVP (velocity viscosity product) จากสมการที่ 4 ซึ่งค่านี้อบ่งบอกถึงค่าที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการถอนผิว เรียกว่าความต้านทานการถอนผิว

$$VVP = V_p \times V \quad (4)$$

โดย VVP = ความต้านทานการถอนผิว (N/m)

V = ความหนืดของน้ำมันทดสอบ (Pa s)

3.3.9.5 ตรวจสอบสมบัติความต้านทานการขีดถูของงานพิมพ์

นำงานพิมพ์ที่ความหนาแตกต่างกัน มาตรวจสอบการขีดถูด้วยเครื่อง Rubbing tester RT-200 ตามมาตรฐาน JIS P 8136 โดยสภาวะการทดสอบคือ มีน้ำหนักกดทับบนงานพิมพ์ 500 กรัม และขีดถูงานพิมพ์จำนวน 100 ครั้ง

นำงานพิมพ์ก่อนและหลังขีดถูมาตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer X-Rite SP62 สภาวะ D50/2 องศา (SPIN Mode) แล้วคำนวณหาค่าความแตกต่างของความเข้มสีและความแตกต่างสี (ΔE_{ab}^*) ของค่าสีบริเวณก่อนและหลังขีดถู

3.3.10 ตรวจสอบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า

ทำการทดสอบหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ไปทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์เหมือนในข้อ 3.3.5

3.3.11 ทดสอบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟิ ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าบนกระดาษเหนียว

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ไปทดสอบพิมพ์เหมือนในข้อ 3.3.6

3.3.12 ศึกษาคุณภาพของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า

นำงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ไปทดสอบคุณภาพของงานพิมพ์เหมือนในหัวข้อ 3.3.7

3.3.13 การเตรียมงานพิมพ์จากหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าด้วยเครื่อง RK Coater

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ไปทดสอบพิมพ์เหมือนในข้อ 3.3.8

3.3.14 ศึกษาคุณภาพงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า

นำงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ไปทดสอบคุณภาพของงานพิมพ์เหมือนในหัวข้อ 3.3.9

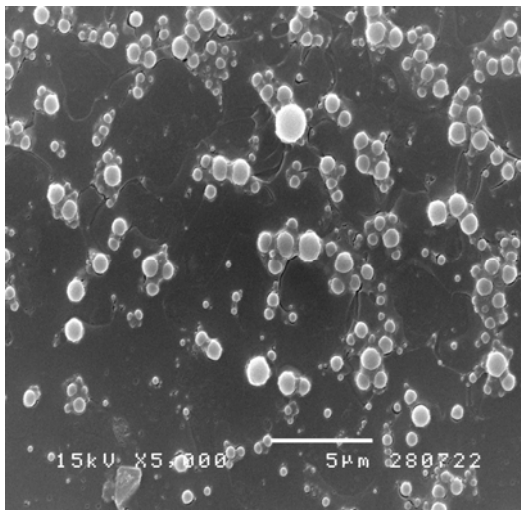
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

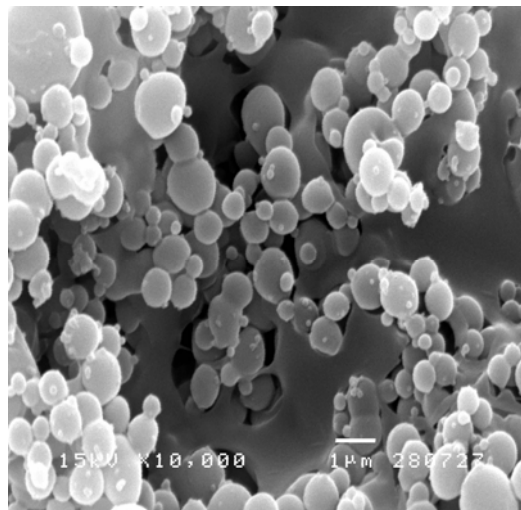
4.1 สมบัติของสารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

4.1.1 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

อนุภาคสารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่เตรียมได้ มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งจากรูปที่ 4.1 - 4.3 ขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร สามารถแบ่งเป็นกลุ่มที่มีขนาดเล็ก และกลุ่มที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร โดยอนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณมากกว่าขนาดเล็ก การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลให้ผลของขนาดอนุภาคที่มีลักษณะทรงกลมเช่นเดียวกัน และมีแนวโน้มของขนาดอนุภาคที่เล็กลง ซึ่งจะสัมพันธ์กับผลการตรวจวัดขนาดอนุภาคในหัวข้อ 4.1.2 ต่อไป

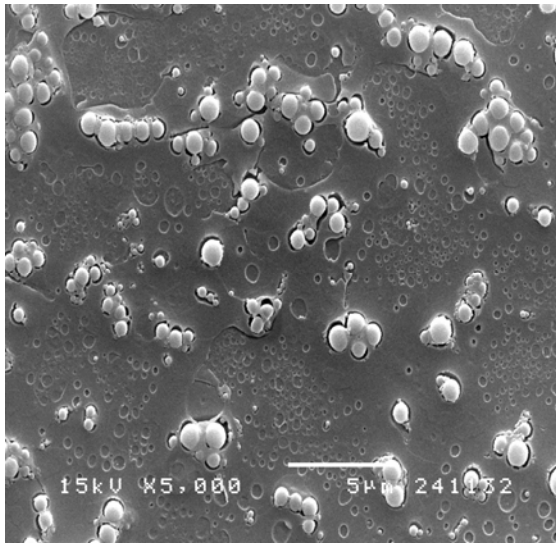


(ก)

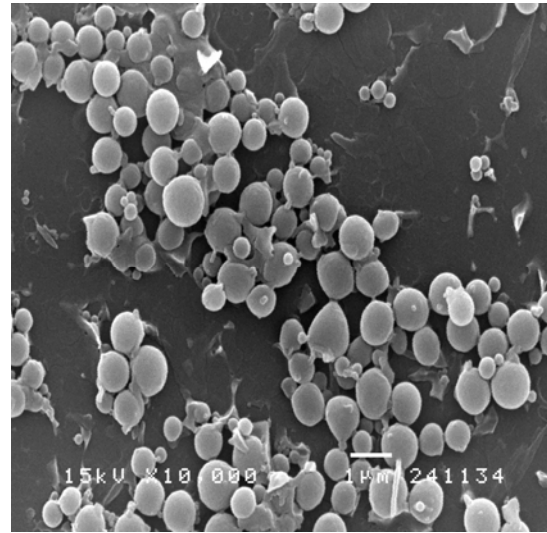


(ข)

รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า



(ก)

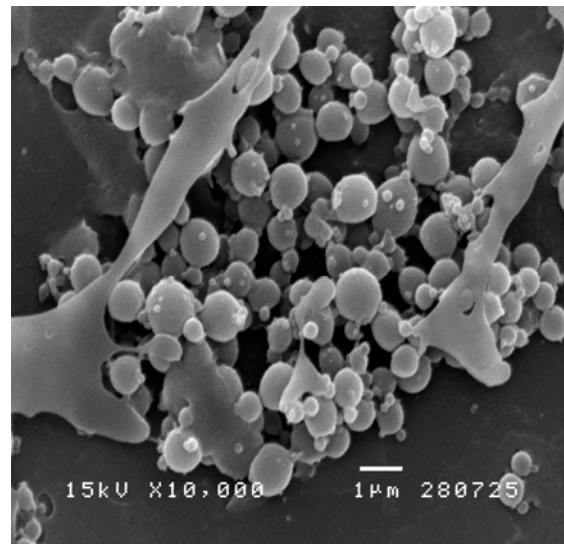


(ข)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเต็มพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า



(ก)

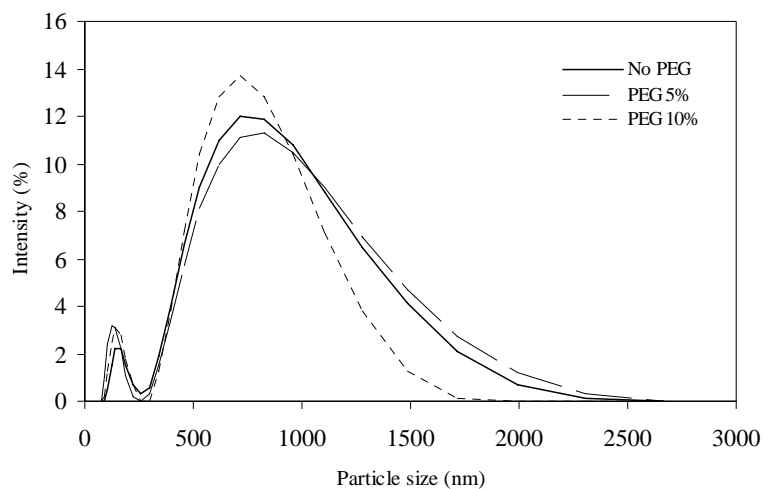


(ข)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเต็มพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่กำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า

4.1.2 ขนาดของอนุภาคสารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

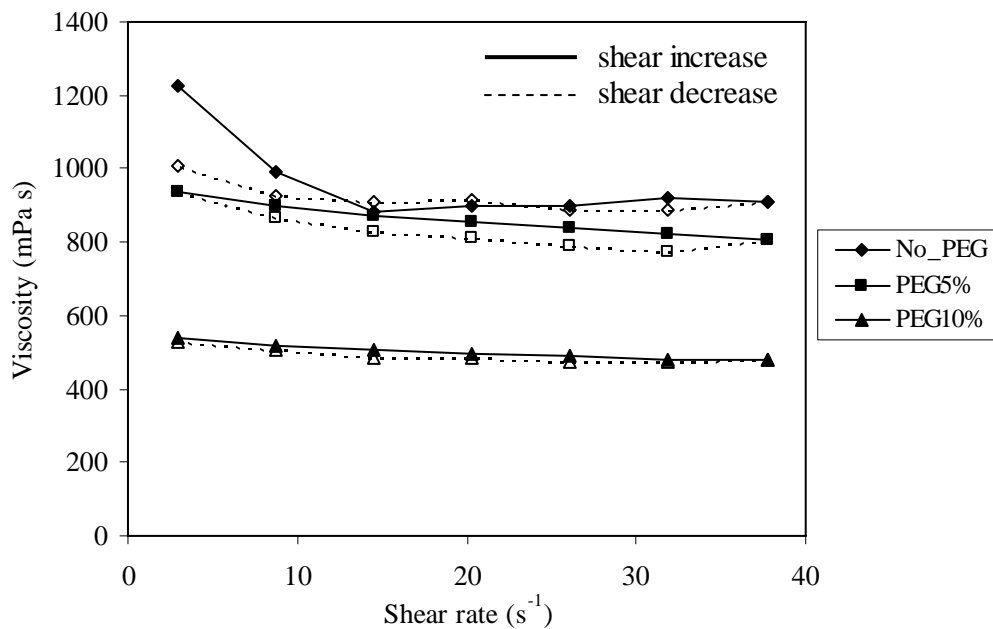
การกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล และชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีลักษณะการกระจายตัวของกราฟเป็น bimodel distribution สามารถบอกได้ว่าอนุภาคสารยึดที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร มีขนาดอนุภาค 2 ขนาด จากรูปที่ 4.4 ขนาดอนุภาคของสารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีค่าเฉลี่ย 182.7 ± 21.22 และ 920.2 ± 81.61 นาโนเมตร ส่วนขนาดอนุภาคของสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 มีค่าเฉลี่ย 147.9 ± 16.18 และ 855.2 ± 16.63 นาโนเมตร และขนาดอนุภาคของสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีค่าเฉลี่ย 156.9 ± 10.7 และ 750.6 ± 63.21 นาโนเมตร จากผลดังกล่าวสามารถบอกได้ว่าอนุภาคสารยึดทั้ง 3 สูตร ไม่มีขนาดสูงกว่า 2 ไมโครเมตร และการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลขณะเตรียมอิมัลชันในส่วนของน้ำมัน (oil phase) ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของสารยึดที่เตรียมได้มีขนาดเล็กลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ทำให้ขนาดอนุภาคที่เตรียมได้มีขนาดเล็กที่สุด นอกจากการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลจะส่งผลต่อขนาดอนุภาคแล้ว ยังส่งผลให้การกระจายของอนุภาคมีการกระจายที่แคบมากขึ้น (narrow distribution) อีกด้วย โดยสาเหตุที่ขนาดและการกระจายของอนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลนั้น เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลเมื่อเติมลงในขณะเตรียมอิมัลชันในส่วนของน้ำมัน ทำให้ส่วนของน้ำมันมีความหนืดลดน้อยลง [32] จึงสามารถกระจายเป็นหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าในส่วนของน้ำ (water phase) ทำให้ได้ขนาดอนุภาคเล็กและการกระจายที่แคบกว่า



รูปที่ 4.4 การกระจายของขนาดอนุภาคพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล และชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10

4.1.3 ความหนืดของสารยัดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน

ความหนืดของสารยัดที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิด เป็นแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด (shear thinning) แบบอ่อนๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารยัด ซึ่งเป็นแรงแบบอ่อนที่สามารถพังทลายลงได้เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.5 ความหนืดของสารยัดมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยสารยัดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ให้ค่าความหนืดที่ลดลง อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคที่เตรียมได้มีขนาดเล็ก จึงส่งผลให้ความหนืดต่ำลงได้ นอกจากนี้สารยัดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นและเมื่ออัตราเฉือนลดลง อาจบ่งชี้ได้ว่าสารยัดที่เติมสารเสริมสภาพพลาสติก ส่งผลให้สารยัดมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น โดยสารยัดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีความหนืดคงที่ หรือมีเสถียรภาพสูงที่สุด ซึ่งจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวด้วยค่าศักย์ซีต้า (zeta potential) ได้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารยัดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันกับอัตราเฉือน

4.1.4 ค่าศักย์ซีต้า อุณหภูมิสภาพแก้ว และร้อยละของน้ำหนักของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน

ค่าศักย์ซีต้าของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันทั้ง 3 ชนิด มีประจุเป็นลบ เนื่องจากการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิกบนผิวอนุภาค นอกจากนี้ปริมาณการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลส่งผลต่อค่าศักย์ซีต้าของอิมัลชัน ให้ค่าที่แตกต่างกัน โดยค่าศักย์ซีต้าเป็นค่าประจุบริเวณผิวชั้น double layer ของอนุภาค สามารถบอกถึงเสถียรภาพของอิมัลชันได้ ถ้าอิมัลชันมีค่าศักย์ซีต้าสูง อนุภาคสามารถกระจายตัวในตัวกลางได้ดี เนื่องจากเกิดแรงผลัก (repulsive force) ระหว่างอนุภาคกับอนุภาคข้างเคียง เกิดการจับกลุ่มก้อนน้อยลง ส่งผลให้อิมัลชันมีเสถียรภาพที่ดี จากตารางที่ 4.1 พบว่าการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลทำให้สารยึดที่เตรียมได้มีค่าศักย์ซีต้าสูงขึ้น สารยึดมีเสถียรภาพมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลมากขึ้น ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเล็กลง ทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้มากขึ้นบนผิวอนุภาค ส่งผลให้มีค่าประจุสูงขึ้น โดยสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีค่าศักย์ซีต้า และเสถียรภาพสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่ออัตราเจือปนเพิ่มขึ้น (จากรูปที่ 4.5)

ค่าอุณหภูมิสภาพแก้วของอิมัลชันแต่ละชนิดจะขึ้นกับโครงสร้างของสายโซ่ น้ำหนักโมเลกุล และแรงระหว่างโมเลกุลภายในพอลิเมอร์นั้นๆ จากตารางที่ 4.1 สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมสารเสริมสภาพพลาสติกมีค่าอุณหภูมิสภาพแก้วเท่ากับ 61.8 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งและเปราะที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งการเติมสารเสริมสภาพพลาสติกลงในขณะเตรียมสารยึด ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิสภาพแก้วของสารยึดมีค่าลดลง โดยสารเสริมสภาพพลาสติกทำให้แผ่นฟิล์มของสารยึดมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น

นอกจากนี้ร้อยละของน้ำหนักสารยึดที่เตรียมได้ของสารยึดทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ร้อยละ 10 มีค่าสูงกว่าสารยึดชนิดอื่นๆ เนื่องจากการเติมปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.1 ค่าศักย์ซีต้า อุณหภูมิสภาพแก้ว และร้อยละของน้ำหนักรายยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

Poly lactide emulsion	Zeta Potential (mV)	T _g (°C)	Solids content (%)
Without PEG	-39.9 ± 0.93	61.8	10.45 ± 0.12
With PEG 5%	-45.2 ± 3.15	51.9	10.44 ± 0.05
With PEG 10%	-62.2 ± 1.54	42.2	10.51 ± 0.12

4.1.5 พลังงานผิวของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

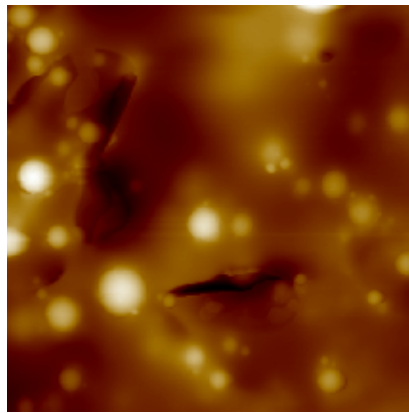
ค่าพลังงานผิวของแผ่นฟิล์มจากสารยัดทั้ง 3 ชนิด มีทั้งส่วนมีขั้วและไม่มีขั้ว โดยส่วนมีขั้วของแผ่นฟิล์มส่วนมากเป็นขั้วลบ เนื่องจากในโครงสร้างของพอลิแล็กไทด์มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลปรากฏอยู่ จึงทำให้มีแนวโน้มพลังงานผิวส่วนที่มีขั้วแบบประจุลบ รวมทั้งมีผลเสริมจากการเติมสารลดแรงตึงผิวนิดแอนไอออนิกร่วมด้วย จากตารางที่ 4.2 ค่าพลังงานผิวของแผ่นฟิล์มสัมพันธ์กับการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล กล่าวคืออิมัลชันที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ส่งผลต่อความไม่มีขั้วและความมีขั้วส่วนที่มีประจุลบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไกลคอล มีส่วนไฮโดรคาร์บอนและมีหมู่ไฮดรอกซิลประกอบด้วย จึงส่งผลต่อพลังงานทั้งสองส่วน

ตารางที่ 4.2 พลังงานผิวส่วนมีขั้วและไม่มีขั้วของแผ่นฟิล์มจากสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชันสามชนิด

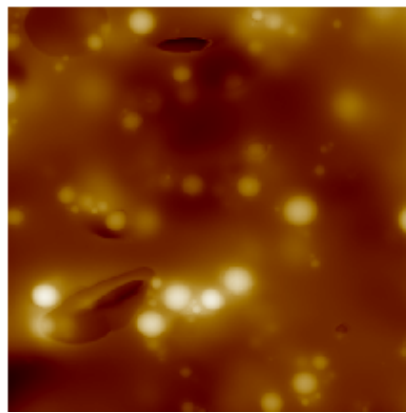
Poly lactide emulsion	γ^{LW} (mJ m ⁻²)	γ^+ (mJ m ⁻²)	γ^- (mJ m ⁻²)
Without PEG	36.51	0.8	18.16
With PEG 5%	39.31	0.46	20.99
With PEG 10%	42.83	0.14	25.38

4.1.6 ภาพถ่าย SPM ของแผ่นฟิล์มจากสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน

ภาพลักษณะของผิวหน้าแผ่นฟิล์มจากสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน ที่เวลาการแห้งตัว 1 วันและ 7 วัน แสดงในรูปที่ 4.6 – 4.8 พบว่าแผ่นฟิล์มของสารยึดที่เตรียมได้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนที่เกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่สมบูรณ์ และส่วนที่ 2 คือส่วนที่เกิดแผ่นฟิล์มไม่สมบูรณ์ สังเกตได้จากเม็ดของอนุภาคพอลิเล็กไทด์ที่ยังคงอยู่ โดยจากภาพผิวหน้าของสารยึดที่ใช้เวลาแห้งตัว 7 วัน มีปริมาณของเม็ดอนุภาคพอลิเล็กไทด์น้อยลง และมีส่วนที่เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม มากกว่าสารยึดที่ใช้เวลาแห้งตัว 1 วัน

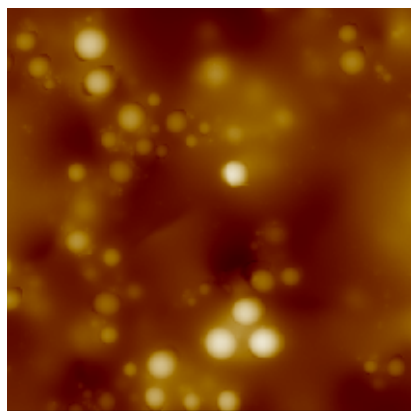


(ก)

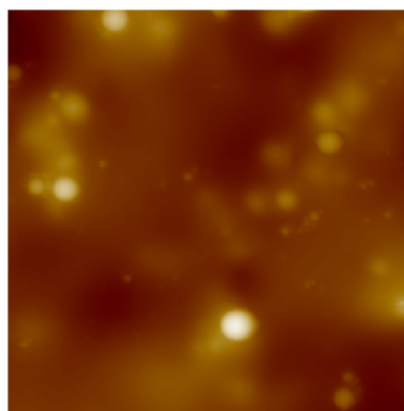


(ข)

รูปที่ 4.6 ภาพ SPM ของผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดชนิดไม่เต็มพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ใช้เวลาในการแห้งตัว (ก) 1 วัน และ (ข) 7 วัน

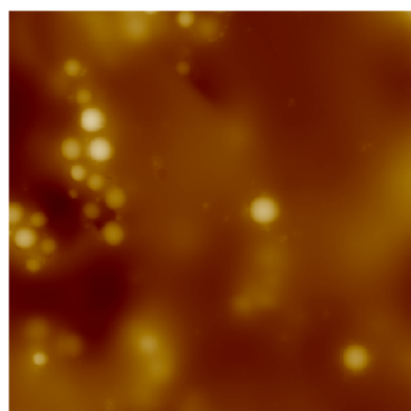


(ก)

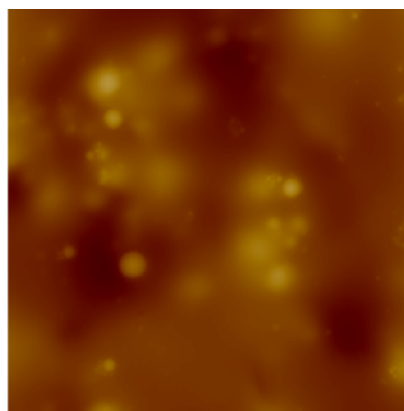


(ข)

รูปที่ 4.7 ภาพ SPM ของผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ใช้เวลาในการแห้งตัว (ก) 1 วัน และ (ข) 7 วัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ภาพ SPM ของผิวหน้าของแผ่นฟิล์มสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ใช้เวลาในการแห้งตัว (ก) 1 วัน และ (ข) 7 วัน

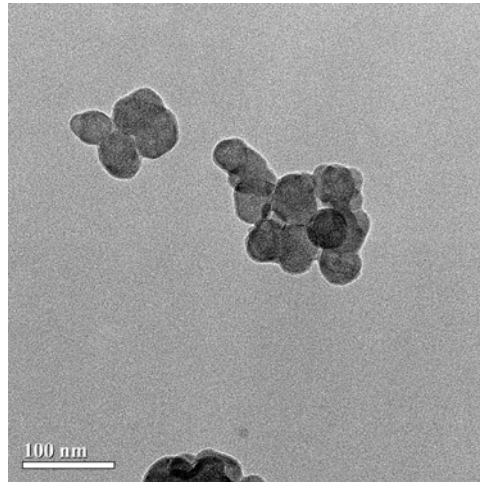
ค่าความขรุขระของผิวหน้าแผ่นฟิล์มสารยัดพอลิแล็กไทด์ จากตารางที่ 4.3 พบว่าแผ่นฟิล์มของสารยัดทั้ง 3 ชนิด เมื่อใช้เวลาการแห้งตัว 7 วัน มีความเรียบมากกว่าที่ใช้เวลาแห้งตัว 1 วัน แสดงว่าความเรียบของแผ่นฟิล์มมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้แห้งตัว สารยัดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีความเรียบมากที่สุดที่เวลาการแห้งตัว 1 วัน และ 7 วัน แสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลส่งผลโดยตรงกับความเรียบ อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของสารยัดที่เตรียมได้ โดยสารยัดที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้เร็วกว่าสารยัดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ นอกจากนี้การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก ทำให้ค่าคุณสมบัติสภาพแก้วลดลงส่งผลให้เมื่อแห้งตัวแล้วเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ง่ายกว่าและได้ความเรียบที่ดีกว่าแผ่นฟิล์มของสารยัดที่ไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของความขรุขระของผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

Drying time	Roughness (nm)	
	1 day	7 day
Poly lactide		
No PEG	118.06	94.75
PEG 5%	88.66	68.42
PEG 10%	72.20	58.61

4.2 ผลการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสารสีสีดำที่ใช้

ภาพถ่ายสารสีดำที่กระจายตัวแล้ว (pigment dispersion) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน จากรูปที่ 4.9 พบว่ามีการจับกลุ่มก้อนของอนุภาคของสารสี โดยขนาดของกลุ่มก้อนดังกล่าว มีขนาดประมาณ 200 นาโนเมตร แต่อนุภาคเดี่ยวๆ มีขนาดประมาณ 50 นาโนเมตร



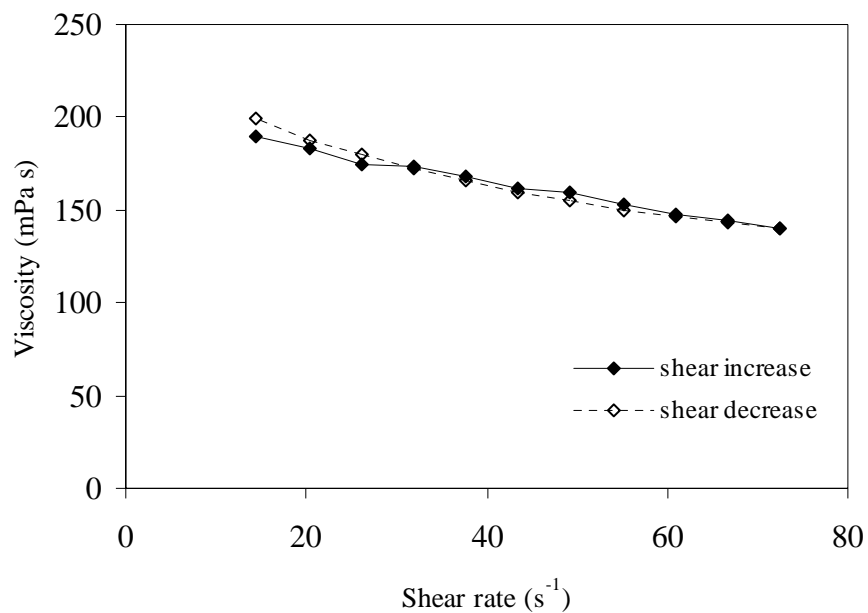
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายอนุภาคของสารสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

จากตารางที่ 4.4 พบว่าขนาดอนุภาคที่ตรวจวัดได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 181.63 ± 2.72 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคสารสีที่มีการจับกลุ่มก้อนกัน (รูปที่ 4.9) โดยค่าศักย์ซีต้าของสารสีมีค่าติดลบ ซึ่งอาจเกิดจากสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เพื่อช่วยในการกระจายสารสีและสร้างเสถียรภาพของสารสีดำที่กระจายตัวแล้ว และมีร้อยละของเนื้อสารสีเท่ากับ 46

ตารางที่ 4.4 ขนาดอนุภาค ค่าศักย์ซีต้า และร้อยละของของแข็งของสารสีดำ

Properties	Pigment dispersion
Particle size (nm)	181.63 ± 2.72
Zeta potential (mV)	-40.8
Solids content (%)	46

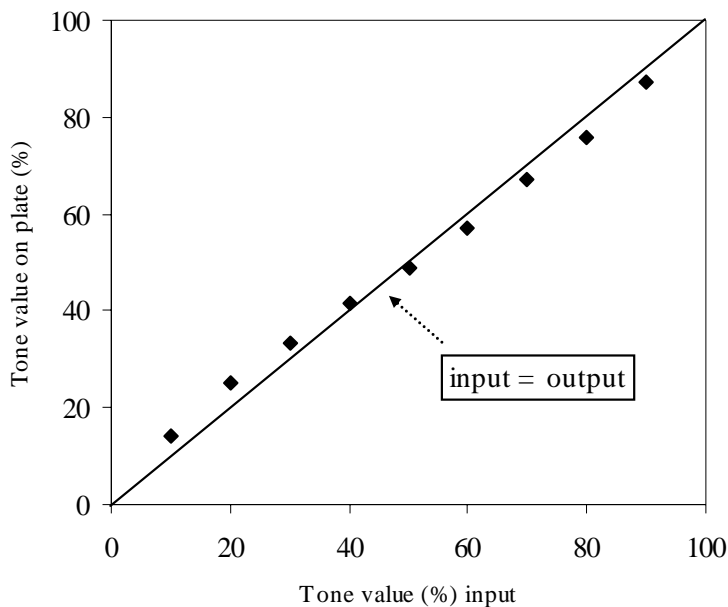
จากรูปที่ 4.10 ค่าความหนืดของสารสีที่อัตราเฉือนต่ำสุดมีค่าประมาณ 200 mPa s และค่าความหนืดที่อัตราเฉือนสูงสุดมีค่าประมาณ 150 mPa s ความหนืดของสารสีที่กระจายตัวแล้ว เป็นแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด (shear thinning) แบบอ่อน เนื่องจากอนุภาคสารสีเกิดการจับกลุ่มก้อนแบบหลวมๆ เมื่อมีแรงมากกระทำ ทำให้กลุ่มก้อนดังกล่าวเกิดการกระจายตัว



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของสารสีดำ

4.3 ผลการตรวจสอบค่าเม็ดสกรีนบวมของแม่พิมพ์เพล็กโซกราฟี

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนของต้นฉบับกับพื้นที่เม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์ที่พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 10 ถึง 90 โดยจุดเหนือเส้นตรงคือพื้นที่ที่เกิดเม็ดสกรีนบวม (dot gain) ส่วนจุดใต้เส้นตรงคือพื้นที่ที่สูญเสียเม็ดสกรีน (dot loss) พบว่าพื้นที่เม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์มีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่เม็ดสกรีนของต้นฉบับมาก โดยบริเวณไฮไลต์เกิดเม็ดสกรีนบวมเล็กน้อย ขณะที่บริเวณเงาเกิดการสูญเสียเม็ดสกรีน ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นประโยชน์เพื่อรู้ถึงลักษณะเฉพาะของแม่พิมพ์ที่ผลิตด้วยวิธีการคอมพิวเตอร์เพลต (computer to plate) ก่อนนำไปพิมพ์ และการนำไปใช้คำนวณหาค่าเม็ดสกรีนของงานพิมพ์ โดยการที่พื้นที่เม็ดสกรีนของแม่พิมพ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่เม็ดสกรีนของต้นฉบับมากนั้น ส่งผลให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในการคำนวณค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ ซึ่งจะใช้ค่าพื้นที่เม็ดสกรีนของต้นฉบับในการคำนวณทดแทนพื้นที่เม็ดสกรีนจากแม่พิมพ์

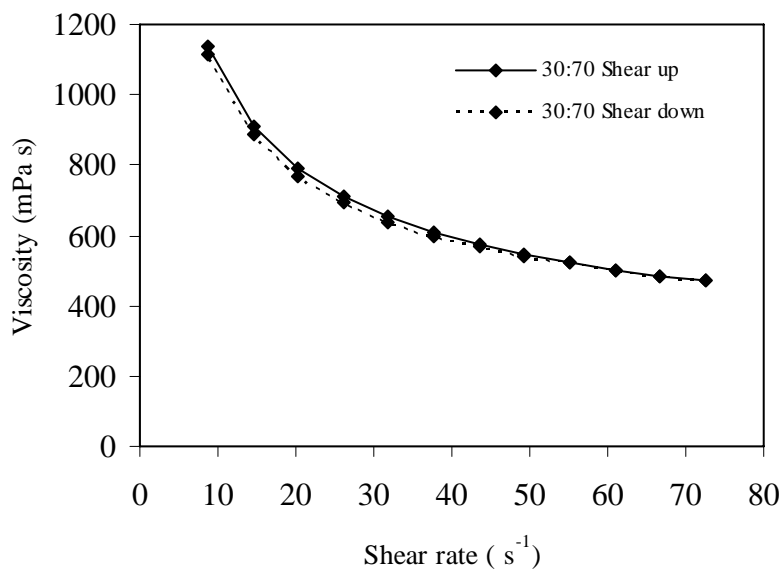


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนของต้นฉบับกับพื้นที่เม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์

4.4 สมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

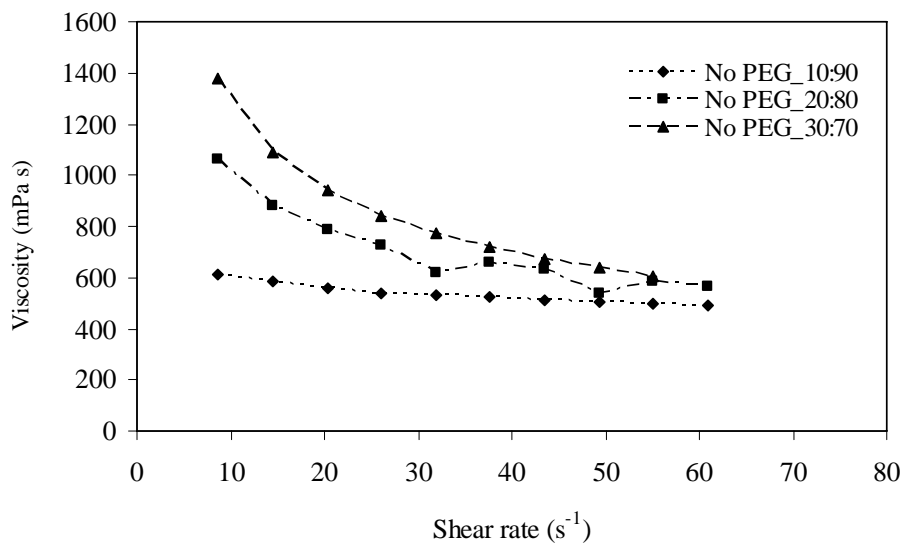
4.4.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

ความหนืดของหมึกพิมพ์เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพิมพ์ บ่งบอกถึงการถ่ายโอน และการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ โดยปกติแล้วค่าความหนืดถูกนำมาแสดงความสัมพันธ์กับอัตราเฉือน กล่าวคือ หมึกพิมพ์มีพฤติกรรมการไหลอย่างไรเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.12 สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดใส่พอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เป็นแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด (shear thinning) คือความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารสีกับสารยึดที่เตรียมได้ลดน้อยลง เมื่อมีแรงมากระทำ โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่ใส่เอทิลีนไกลคอลและชนิดใส่เอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก แสดงพฤติกรรมการไหลเช่นเดียวกัน

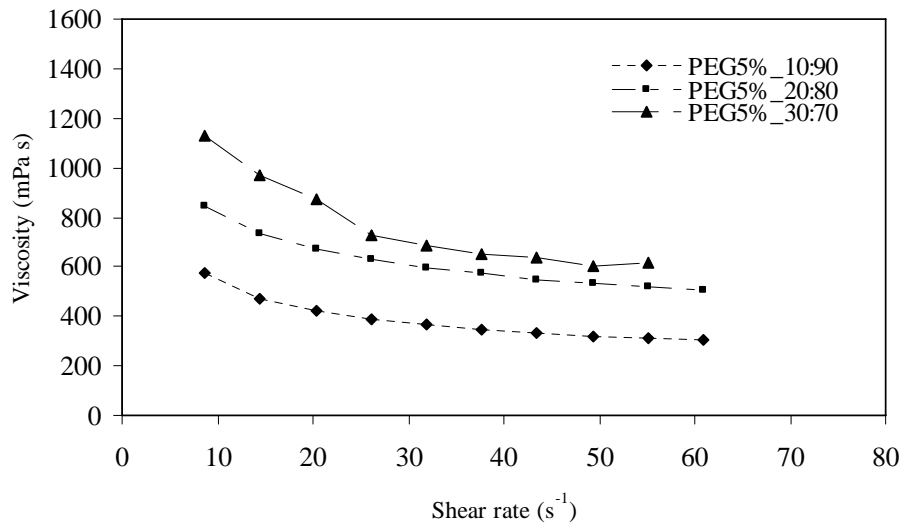


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

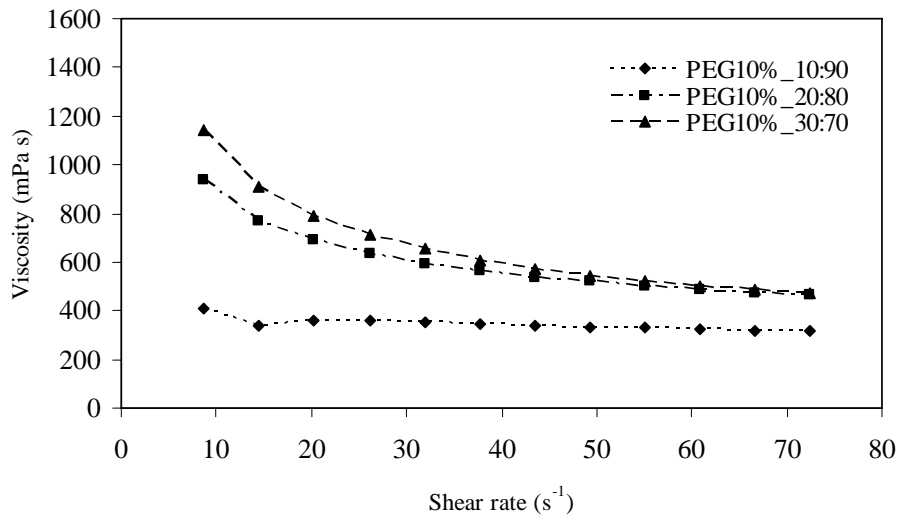
องค์ประกอบของหมึกพิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้อธิบายพฤติกรรมการไหลของหมึกพิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีมาก ส่งผลให้ค่าความเข้มของสี (color strength) และความทึบแสง (opacity) ดี แต่ให้ระดับการจับกลุ่มก้อน (degree of flocculation) ที่มากขึ้นด้วย ซึ่งการจับกลุ่มก้อนของหมึกพิมพ์ทำให้ค่าความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าไม่คงที่ และการถ่ายโอนหมึกไม่ดีนัก จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์กับอัตราเฉือน เมื่อใช้ปริมาณสารสีที่แตกต่างกันและสารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เต็มเอทิลีนไกลคอล โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีมาก มีค่าความหนืดที่สูงกว่า นอกจากนี้พบว่าปริมาณสารสีที่ใช้มีความสัมพันธ์กับลักษณะพฤติกรรมการไหลของหมึกพิมพ์ กล่าวคือหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีมากขึ้น ทำให้แสดงพฤติกรรมแรงเฉือนลดสูงขึ้น โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 10 แสดงพฤติกรรมแรงเฉือนลดแบบอ่อนๆ ซึ่งความแตกต่างของพฤติกรรมการไหลของหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตร สามารถอธิบายด้วยปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารสีและสารยึด โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณของสารสีน้อยกว่า เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของสารสีและสารยึดปริมาณต่ำกว่า และปริมาณสารสีมีในระดับต่ำ จึงส่งผลให้ความหนืดมีค่าต่ำ โดยหมึกพิมพ์ชนิดที่ใช้สารยึดพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (จากรูปที่ 4.14 – 4.15)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เต็มพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

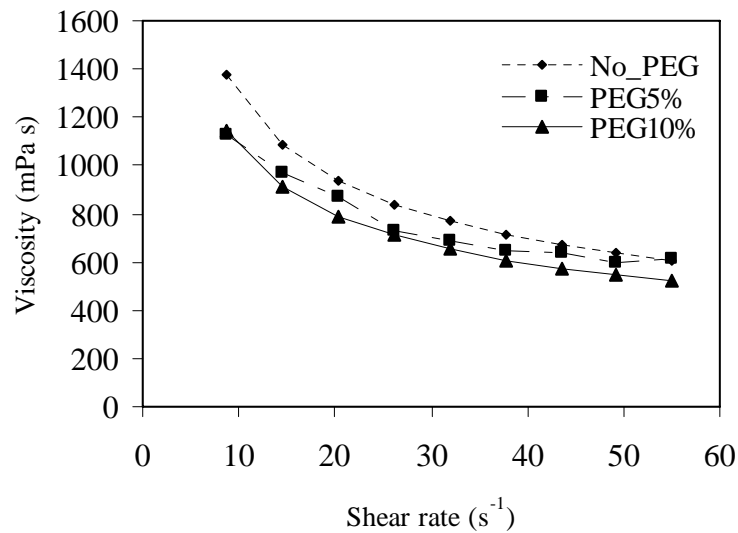


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

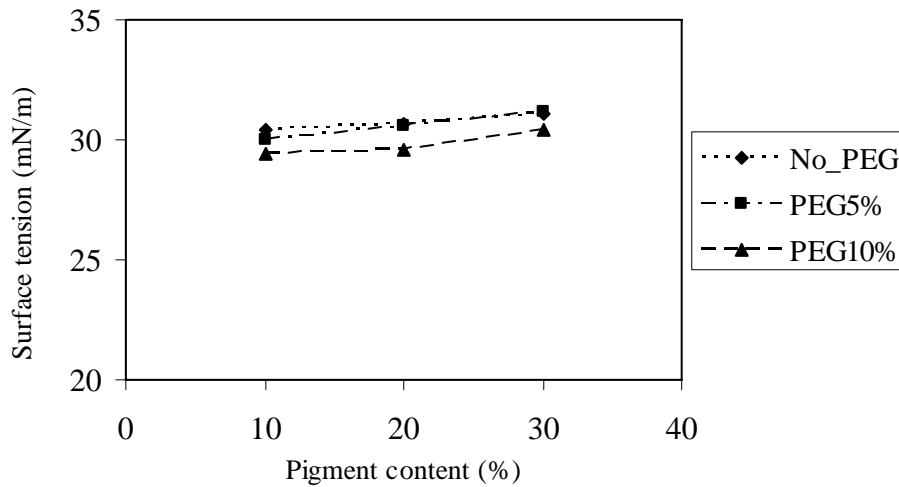
จากรูปที่ 4.16 แสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนักเท่ากัน แต่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน พบว่าความหนืดของหมึกพิมพ์สัมพันธ์กับความหนืดของสารยึดที่นำมาใช้ โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีความหนืดต่ำที่สุด เนื่องจากความหนืดของอิมัลชันมีค่าต่ำสุดที่ PEG ร้อยละ 10 สอดคล้องกับความหนืดของสารยึดที่ใช้ ซึ่งหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 10 และ 20 มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

4.4.2 แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน

ค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปียกผิวบนวัสดุพิมพ์ การที่หมึกพิมพ์สามารถเปียกผิววัสดุพิมพ์ได้นั้นต้องมีค่าแรงตึงผิวต่ำกว่าพลังงานผิวของวัสดุพิมพ์อย่างน้อย 10 mN/m [25] สำหรับหมึกพิมพ์ฐานน้ำค่าแรงตึงผิวเป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากรูปที่ 4.17 ค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์เมื่อใช้สารยึดทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 29 – 31 mN/m และมีความสัมพันธ์กับปริมาณของสารสีที่ใช้ โดยหมึกพิมพ์มีค่าแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติมปริมาณสารสีมากขึ้น เนื่องจากใช้สารยึดน้อยลง สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันที่เตรียมได้ มีการเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยสร้างเสถียรภาพ ซึ่งสารลดแรงตึงที่เติมลงไปส่งผลให้อิมัลชันมีค่าแรงตึงผิวที่ต่ำลง โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีแรงตึงผิวต่ำกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดอื่น ที่ทุกปริมาณสารสี



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารสีที่ใช้กับค่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน

4.4.3 ขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน

จากตารางที่ 4.5 แสดงขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ปริมาณสารสีต่างๆ พบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีมากขึ้น ขนาดอนุภาคที่วัดได้มีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารสีกับสารยึดมากขึ้น อาจมีการจับกลุ่มก้อนเป็นก้อนแบบหลวมๆ เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณสารสีต่างๆ

Pigment content(%)	Particle size (nm)		
	10	20	30
No PEG	227.57 ± 3.41	262.47 ± 6.99	283.27 ± 8.36

นอกจากนี้ จากตารางที่ 4.6 พบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด ที่ปริมาณสารสีเดียวกัน โดยสาเหตุอาจเนื่องจากสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีเสถียรภาพที่ดี ค่าศักย์ซีต้าสูง ทำให้เมื่อนำมาใช้ในหมึกพิมพ์ หมึกพิมพ์เกิดการกระจายตัวที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.6 ขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณสารสีเดียวกัน

20% Pigment content	Particle size (nm)
No PEG	262.47 ± 6.99
PEG 5%	271.50 ± 7.39
PEG 10%	245.6 ± 8.25

4.4.4 ร้อยละของของแข็งของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน

จากตารางที่ 4.7 แสดงร้อยละของของแข็งของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดพอลิเอทิลีนไกลคอลทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณสารสีแตกต่างกัน พบว่าหมึกพิมพ์เมื่อใช้ปริมาณสารสีมากขึ้น ร้อยละของของแข็งของหมึกพิมพ์สูงขึ้น นอกจากนี้ หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีร้อยละของของแข็งสูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดอื่นในทุกๆ ปริมาณสารสี เนื่องจากมีการเติมพอลิเอทิลีนในปริมาณที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.7 ร้อยละของเนื้อหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดและปริมาณสารสีแตกต่างกัน

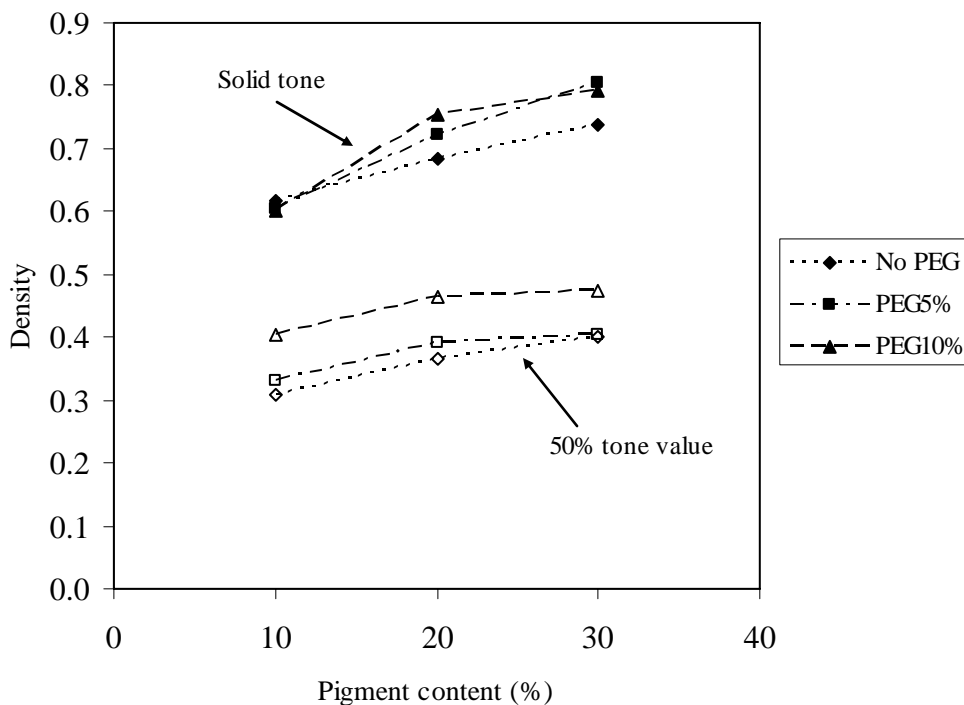
Pigment content (%)	Solids content (%)		
	10	20	30
No PEG	16.03 ± 0.58	23.11 ± 0.14	25.33 ± 0.54
PEG 5%	16.08 ± 0.03	23.28 ± 0.35	25.99 ± 0.15
PEG 10%	17.17 ± 1.63	23.67 ± 0.65	26.10 ± 0.59

4.5 คุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน

4.5.1 ค่าความดำของงานพิมพ์

ค่าความดำของงานพิมพ์เป็นค่าที่บอกถึงความเปรียบต่างระหว่างภาพที่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์ โดยค่าความดำที่แท้จริงสามารถคำนวณได้จากผลต่างของค่าความดำระหว่างภาพพิมพ์กับวัสดุที่ไม่ทำการพิมพ์ จากรูปที่ 4.18 พบว่าค่าความดำของงานพิมพ์มีค่าสูงขึ้น เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีเพิ่มขึ้น โดยค่าความดำของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกับเมื่อใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ให้ค่าความดำของงานพิมพ์มากกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมเอทิลีนไกลคอลมีความหนืดของหมึกพิมพ์ต่ำกว่า ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งแอนิลอกไปสู่แม่พิมพ์ และวัสดุพิมพ์ได้ดีกว่าหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดสูง ทำให้ปริมาณหมึกพิมพ์บนวัสดุพิมพ์มีมากกว่า ค่าความดำจึงสูงกว่า

โดยค่าความดำของงานพิมพ์บนกระดาษเหนียว ส่วนใหญ่มีค่าที่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของกระดาษเหนียว ที่มีผิวหน้าไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน ทำให้หมึกพิมพ์เกิดการซึมลงในเนื้อกระดาษได้ง่าย นอกจากนี้การคำนวณค่าความดำจากสมการที่ (1) ซึ่งคำนวณจากผลต่างค่าความดำของงานพิมพ์กับวัสดุพิมพ์ ซึ่งกระดาษเหนียวมีผิวหน้ากระดาษสีน้ำตาลที่มีค่าความดำค่อนข้างสูงกว่ากระดาษสีขาว ส่งผลให้ค่าความดำที่วัดได้มีค่าไม่สูงมากนัก โดยผลของค่าความดำบริเวณเม็ดสกรีนร้อยละ 50 ให้แนวโน้มของผลการทดลองเช่นเดียวกับบริเวณพื้นตาย



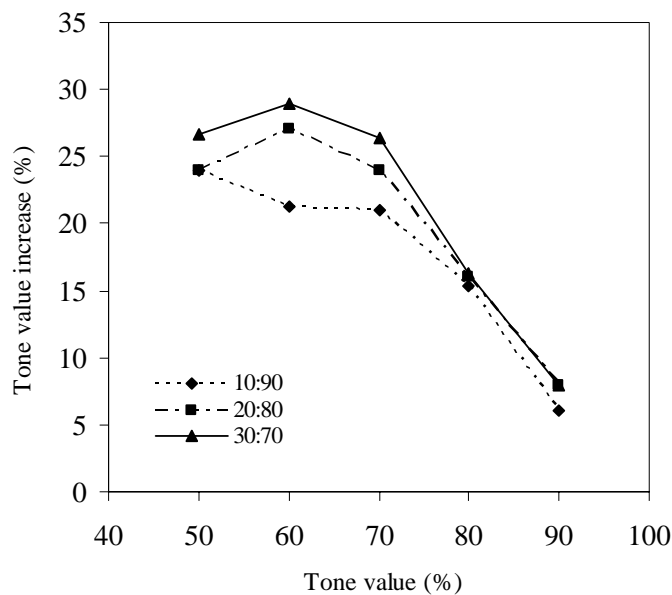
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารสีที่ใช้กับค่าความดำของงานพิมพ์ เมื่อใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันที่ต่างชนิดกัน

4.5.2 ค่าเม็ดสกรีนบวมและคุณภาพเส้นของงานพิมพ์

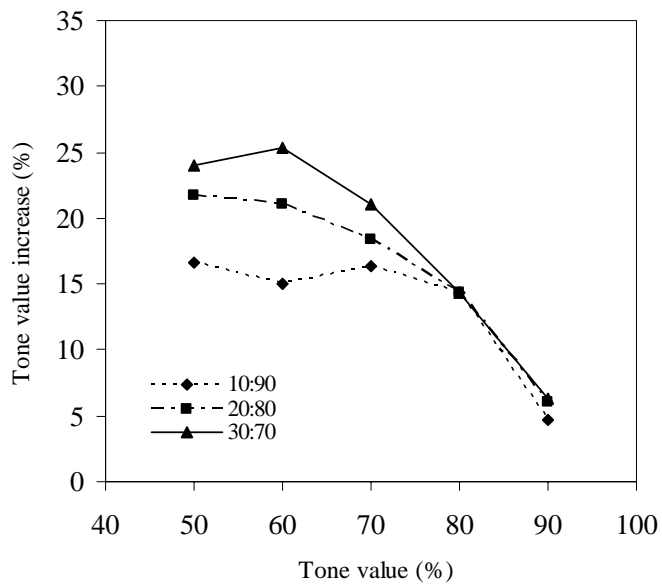
ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์คำนวณจาก ขนาดเม็ดสกรีนของงานพิมพ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากขนาดเม็ดสกรีนของต้นฉบับ โดยค่าเม็ดสกรีนบวมที่คำนวณด้วยสมการของ Murray-Davies จากสมการที่ (2) จากรูปที่ 4.19 แสดงค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมเอทิลีนไกลคอล พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 50 ถึง 90 พิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์ 350 นิวตัน พบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมบริเวณมิดโทน (mid-tone) เกิดมากกว่าบริเวณเงา (shadow) นอกจากนี้หมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณของสารยึดมาก ให้ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ที่น้อย โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าเม็ดสกรีนบวมน้อยกว่าปริมาณสารสีอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสาเหตุอาจเกิดได้จาก 2 ประการ ประการแรกสารยึดในหมึกพิมพ์ช่วยให้หมึกพิมพ์ยึดติดบนวัสดุพิมพ์ได้ดี เกิดการแผ่ (ink spreading) บนกระดาษได้น้อย ประการที่สองเกิดจากความหนืดของหมึกพิมพ์ โดยที่หมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีมากมีความหนืดสูง ส่งผลให้ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์มีค่ามาก

โดยที่งานพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์ชนิดเติมเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ปริมาณสารสีต่างๆ มีแนวโน้มที่เหมือนกัน แต่ระดับการบวมลดลง (จากรูปที่ 4.20) ซึ่งสาเหตุของการเกิดการบวมของเม็ดสกรีนนั้นเกิดได้จากหลายๆปัจจัย แต่ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าเม็ดสกรีนบวมมากที่สุดคือ แรงกดพิมพ์ระหว่างแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในระบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟีทำจากพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นตัว สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เมื่อมีแรงมากกระทำ เมื่อแรงกดพิมพ์สูงขึ้น พื้นที่สัมผัสระหว่างแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์มากขึ้น ขนาดเม็ดสกรีนจึงขยายใหญ่ขึ้น [30] นอกจากนี้องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ ความหนืด แรงตึงผิว วัสดุพิมพ์ และการซึมของหมึกพิมพ์ลงในวัสดุพิมพ์เป็นปัจจัยอีกหนึ่งที่ทำให้เกิดค่าเม็ดสกรีนบวมบนงานพิมพ์

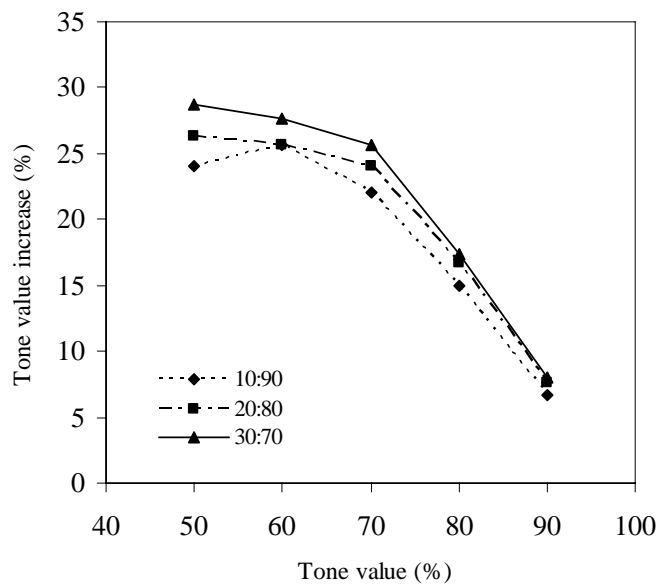
จากรูปที่ 4.21 พบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 เมื่อใช้ปริมาณสารสีต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดอื่นๆ แต่ความแตกต่างค่าเม็ดสกรีนบวมของหมึกพิมพ์ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 มีน้อยที่สุด



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

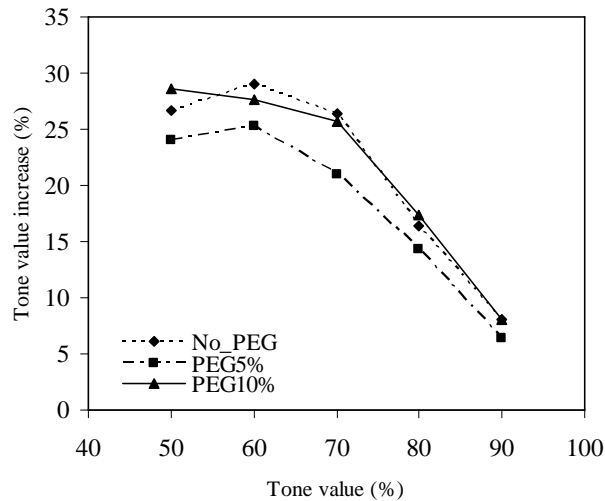


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนของสารร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.22 พบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิด เดิมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งที่ปริมาณ สารสีร้อยละ 10 และ 20 แสดงผลเช่นเดียวกัน ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์นั้น มีหลายๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดเม็ดสกรีนบวม โดยการซึมของหมึกพิมพ์ลงในวัสดุพิมพ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจาก กระดาษเหนียวที่ใช้พิมพ์เป็นกระดาษมีรูพรุนที่ผิวหน้า สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์ได้ดี



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เม็ดสกรีนกับค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเอทิลีนไกลคอลชนิดต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

การแห้งตัวของหมึกพิมพ์บนกระดาษเหนียวสามารถเกิดได้สองปัจจัยหลัก คือ การระเหยของตัวทำละลาย และการซึมของหมึกพิมพ์ลงในวัสดุพิมพ์ จากสมการของ Lucas – Washburn (5) มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความลึกของการซึม ดังนั้นเมื่อหมึกพิมพ์พิมพ์ลงวัสดุพิมพ์ ระยะทางการซึมของหมึกพิมพ์สามารถประมาณได้จากค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืดของหมึกพิมพ์ $((\gamma/\eta)^{1/2})$ โดยหมึกพิมพ์มีการซึมลงในวัสดุพิมพ์ได้ลึก เมื่อรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าสูง

$$h = \left(\frac{r\gamma \cos \theta}{2\eta} \right)^{1/2} t^{1/2} \quad (5)$$

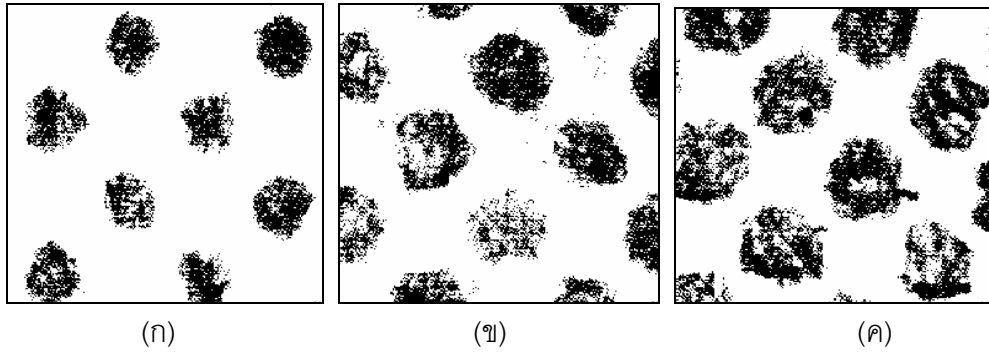
เมื่อ h คือ ความลึกของการซึมที่เวลาหนึ่ง (t), r คือ รัศมีของรูปวงกลม, γ คือ ค่าแรงตึงผิว, θ คือ มุมสัมผัส และ η คือ ค่าความหนืด

จากตารางที่ 4.8 แสดงค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืดของหมึกพิมพ์ บอกได้ว่าหมึกพิมพ์เกิดการซึมลงในวัสดุพิมพ์ได้ดีก เมื่อรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าสูง โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 มีค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืดของหมึกพิมพ์สูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดอื่นๆ ที่ปริมาณสารสีเดียวกัน ดังนั้นหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 สามารถซึมลงวัสดุพิมพ์ได้ดีกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดอื่น ซึ่งการซึมลงวัสดุพิมพ์ได้ดี อาจเป็นสาเหตุทำให้หมึกพิมพ์เกิดการแผ่ (ink spreading) ออกด้านข้างบนวัสดุพิมพ์ได้น้อยลง โดยการซึมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ และคุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืดของหมึกพิมพ์มีผลสอดคล้องกับค่าเม็ดสกรีนรวม

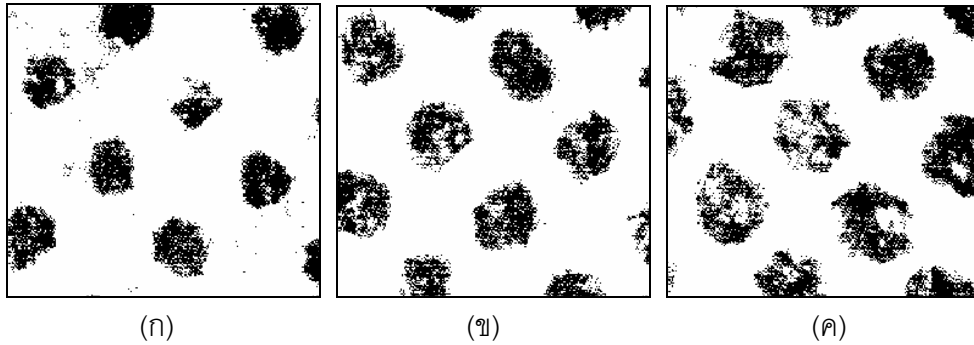
ตารางที่ 4.8 ค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืด

Pigment content (%)	$(\gamma/\eta_0)^{1/2}$		
	10	20	30
No PEG	0.197	0.113	0.091
PEG 5%	0.221	0.140	0.131
PEG 10%	0.216	0.118	0.102

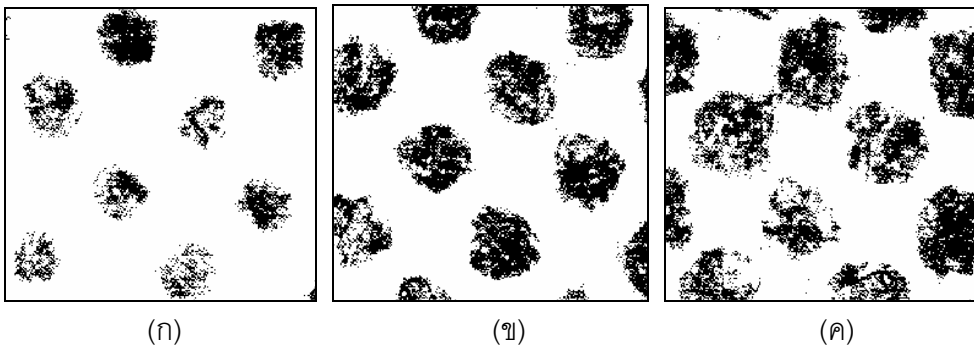
ค่าเม็ดสกรีนรวมที่วัดได้จากสมการของ Murray–Davies เป็นสมการที่วัดเม็ดสกรีนรวมที่เกิดจากสาเหตุเชิงกายภาพ (physical dot gain) และ เชิงแสง (optical dot gain) ซึ่งค่าเม็ดสกรีนรวมเชิงแสงไม่ใช่ขนาดของเม็ดสกรีนที่ขยายใหญ่ขึ้นจริง แต่เกิดจากการกระเจิงของแสงภายในกระดาษบริเวณขอบของเม็ดสกรีน ทำให้ขนาดเม็ดสกรีนที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดค่าความดำ (densitometer) มีค่ามากกว่าความเป็นจริง โดยค่าเม็ดสกรีนรวมเชิงแสงของงานพิมพ์เกิดขึ้นมากบริเวณเม็ดสกรีนน้อยๆ ดังนั้นอาจบอกได้ว่า การวัดค่าเม็ดสกรีนรวมบริเวณเม็ดสกรีนต่ำๆ (highlight) ด้วยเครื่องวัดค่าความดำความแม่นยำต่ำกว่าการวัดพื้นที่ของเม็ดสกรีนด้วยภาพถ่าย จากรูปที่ 4.23 – 4.25



รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายเม็ดสกรีนของงานพิมพ์จากเครื่อง FlexoDot เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลอัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ (ก)10 (ข) 20 และ (ค)30



รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายเม็ดสกรีนของงานพิมพ์จากเครื่อง FlexoDot เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ (ก)10 (ข) 20 และ (ค)30



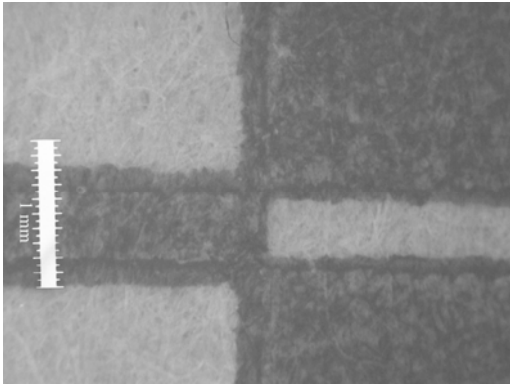
รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายเม็ดสกรีนของงานพิมพ์จากเครื่อง FlexoDot เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ (ก)10 (ข) 20 และ (ค)30

ค่าเม็ดสกรีนบวมบริเวณเม็ดสกรีนต่ำๆ ศึกษาจากเครื่อง FlexoDot ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการตรวจวัดเม็ดสกรีนบวมที่เม็ดสกรีนต่ำ โดยเป็นการวัดขนาดเม็ดสกรีนด้วยการคำนวณจากพื้นที่บริเวณขอบของเม็ดสกรีนที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง [33] แต่การวัดขนาดเม็ดสกรีนด้วยเครื่อง FlexoDot มีข้อจำกัด คือสามารถวัดได้เฉพาะที่บริเวณไฮไลต์ เนื่องจากที่บริเวณเม็ดสกรีนสูง เมื่อเกิดการบวมของเม็ดสกรีนแล้ว เกิดปรากฏการณ์เม็ดสกรีนเชื่อมเข้าหากัน (dot bridging) ส่งผลให้คำนวณพื้นที่ของเม็ดสกรีนได้ไม่เที่ยงตรง จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์บริเวณไฮไลต์มีค่ามากขึ้น เมื่อพื้นที่เม็ดสกรีนเพิ่มขึ้น โดยชนิดของสารยึดที่ใช้ในหมึกพิมพ์มีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าเม็ดสกรีนบวมบริเวณไฮไลต์

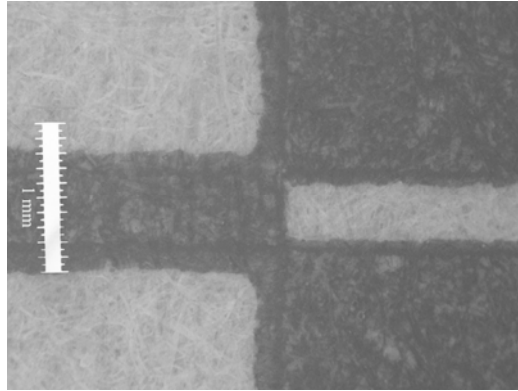
ตารางที่ 4.9 ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์ อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 10 20 และ 30

Tone value (%)	Tone value increase (%)		
	No PEG	PEG 5%	PEG 10%
10	15	14.5	14
20	23	21	22.5
30	30.5	30.5	30

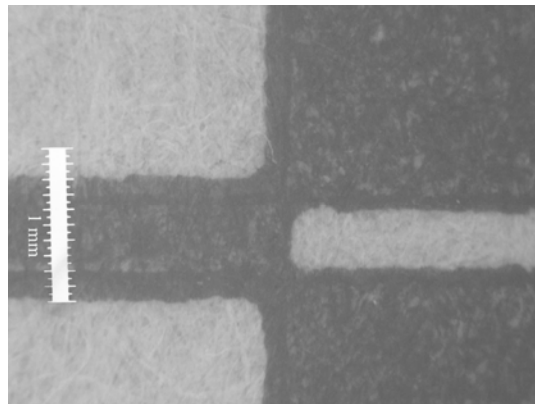
ค่าเม็ดสกรีนบวมเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพงานพิมพ์ ที่ใช้ในการอธิบายคุณภาพงานพิมพ์แบบสอดสี (haft tone) หรือ บริเวณที่ไม่ใช่พื้นตาย แต่สำหรับการพิมพ์พื้นตาย ความคมชัดบริเวณขอบของภาพที่พิมพ์มีความสำคัญมากกว่า โดยสำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนกระดาษเหนียวที่นำไปใช้จริงแล้วความคมชัดภาพหรือขนาดของเส้นมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพ เช่น การควบคุมคุณภาพงานพิมพ์บาร์โค้ด จากรูปที่ 4.26 แสดงภาพถ่ายของเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณสารสีแตกต่างกัน โดยใช้แรงกดพิมพ์ 350 นิวตัน จะเห็นว่าขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้มีขนาดที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย



(ก)



(ข)



(ค)

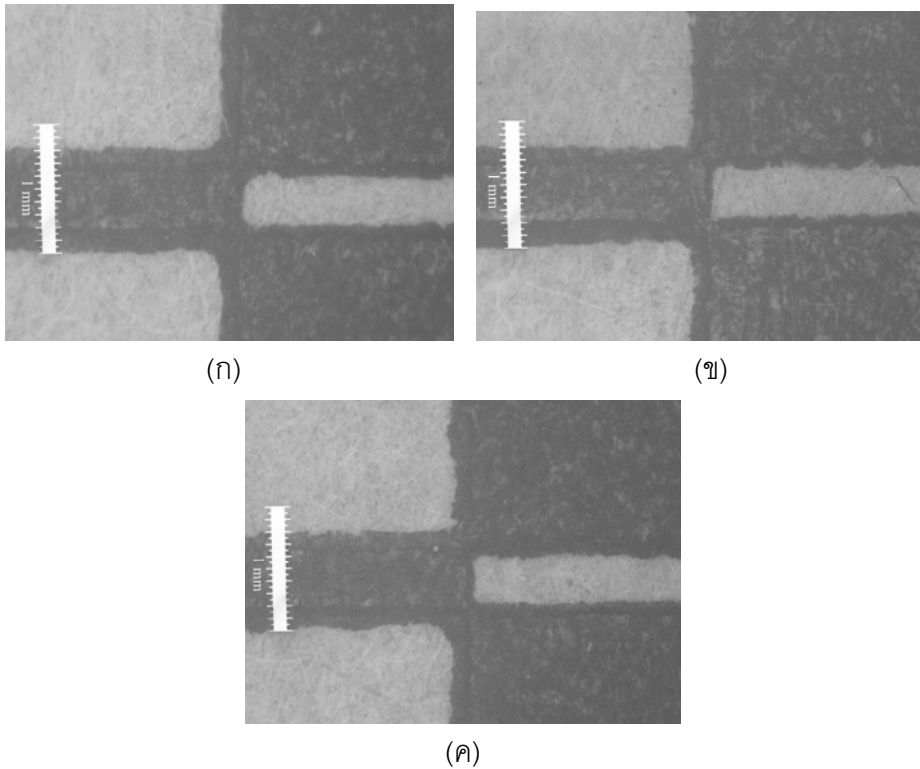
รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยัดจากพอลิแล็กไทด์ อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ (ก)10 (ข)20 และ (ค)30 โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.10 แสดงร้อยละขนาดที่เพิ่มขึ้นของเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณการเติมสารสีแตกต่างกัน พบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีน้อย ให้การเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นน้อยที่สุด โดยสาเหตุเนื่องจากค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ต่ำ และปริมาณสารยัดที่ใช้มาก ทำให้หมึกยัดติดที่ผิวหน้ากระดาษได้ดี โดยค่าการแผ่ของหมึกมีความแตกต่างกันที่ไม่มากนัก เนื่องจากสาเหตุหลักของการเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นคือ แรงกดพิมพ์ที่ใช้ (impression force) ซึ่งอธิบายไปในหัวข้อค่าเม็ดสกรีนบวม โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยัดชนิดอื่นๆ ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4.10 การแผ่ของเส้นขนาดต้นฉบับ 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

Pigment content (%)	10	20	30
Bleeding (%)	60.7 ± 0.01	61.3 ± 0.01	62.7 ± 0.02

จากรูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกัน ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้ มีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่บริเวณขอบของเส้นงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความสม่ำเสมอมากที่สุด



รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน (ก)ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (ข)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ (ค)ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละขนาดที่เพิ่มขึ้นของเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกัน ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ให้การเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นน้อยที่สุด แต่จากรูป 4.27 พบว่าบริเวณขอบของเส้นที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ให้งานพิมพ์ที่มีความคมชัดและสม่ำเสมอที่สุด โดยอาจอธิบายได้ว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีความหนืดต่ำ โดยหมึกพิมพ์ส่วนหนึ่งสามารถเกิดการซึมลึกลงในกระดาษ แต่อีกส่วนที่ยังไม่ซึมอาจเกิดการแพร่ออกด้านข้าง ทำให้เส้นเกิดความไม่สม่ำเสมอ แต่สำหรับงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความหนืดสูง หมึกพิมพ์ซึมลงกระดาษได้ต่ำ ทำให้หมึกพิมพ์อาจเกิดการซึมออกด้านข้างได้ จึงส่งผลให้เส้นมีขนาดเพิ่มขึ้นสูง แต่สม่ำเสมอมากกว่า

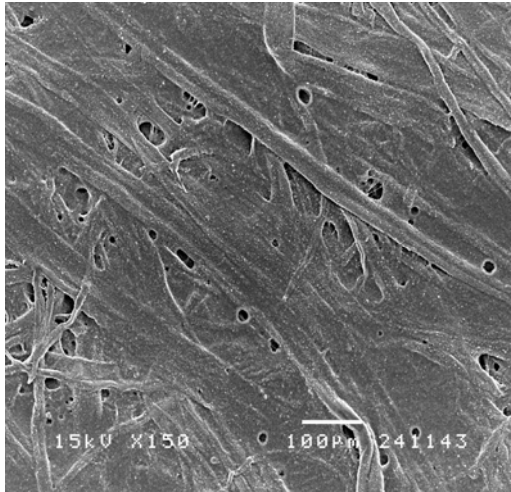
ตารางที่ 4.11 การแผ่ของเส้นขนาดต้นฉบับ 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

Poly lactide emulsion	No PEG	PEG 5%	PEG 10%
Bleeding (%)	62.7 ± 0.015	60 ± 0.01	58 ± 0.01

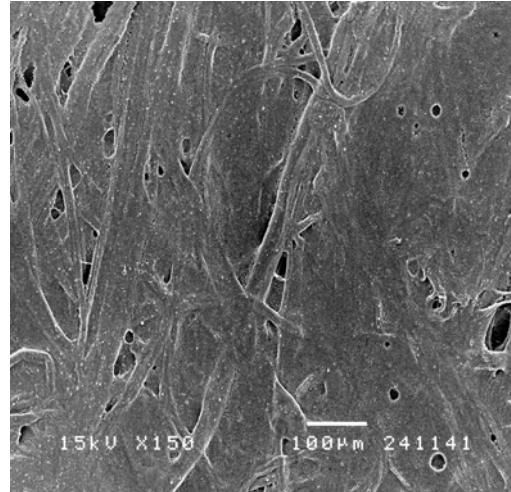
4.5.3 ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์

จากรูปที่ 4.28 แสดงภาพถ่ายผิวหน้าของงานพิมพ์ที่ใช้กำลังขยาย 150 พบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่มีปริมาณสารสีเพิ่มขึ้น ให้ผิวหน้างานพิมพ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากสารสีที่ทำหน้าที่ช่วยปิดผิวหน้าของงานพิมพ์มีมากขึ้น โดยงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 4.29 เห็นว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนาขณะเป็ยก 4 12 และ 24 ไมโครเมตร พบว่าเมื่อพิมพ์ที่ความหนาเพิ่มขึ้น ผิวหน้าของงานพิมพ์เรียบขึ้นและความหนาขณะแห้งสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณเนื้อของหมึกพิมพ์บนกระดาษมากขึ้น โดยงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่มีปริมาณสารสีอื่นและสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

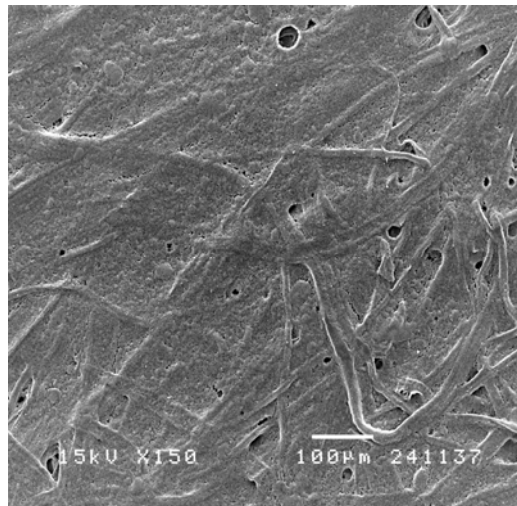
จากรูปที่ 4.30 เป็นภาพถ่ายผิวหน้าเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกัน อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนาขณะเป็ยก 24 ไมโครเมตร โดยเหตุผลที่เลือกความหนาขณะเป็ยกที่ 24 ไมโครเมตร เนื่องจากหมึกพิมพ์สามารถปิดผิววัสดุพิมพ์มากที่สุดและมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากต้องการตรวจสอบเฉพาะลักษณะแผ่นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่ได้ โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลมีความเรียบมากกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เนื่องจากสมบัติด้านความเรียบของสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลสูงกว่า จากรูปที่ 4.31 แสดงภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าหมึกพิมพ์ที่ความหนาขณะเป็ยก 4 12 และ 24 ไมโครเมตร มีความหนาขณะแห้งประมาณ 2 6 และ 12 ไมโครเมตร นอกจากนี้งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกัน อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนาขณะเป็ยก 24 ไมโครเมตร มีความหนาขณะแห้งใกล้เคียงกัน (จากรูปที่ 4.32) โดยที่ปริมาณสารสีและความหนาอื่น มีผลเช่นเดียวกัน



(ก)

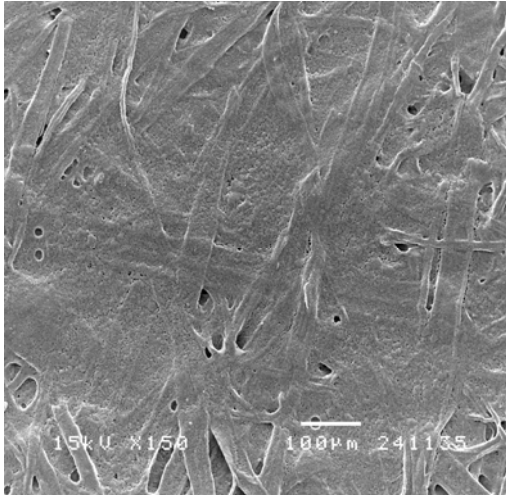


(ข)

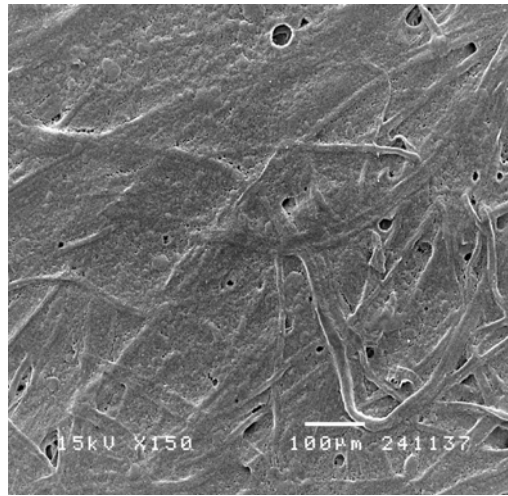


(ค)

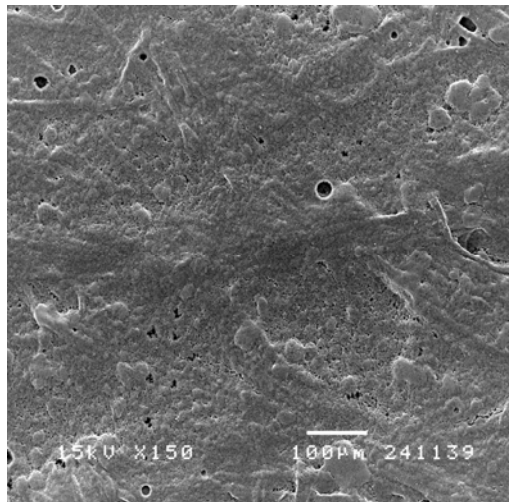
รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน ชนิดไม่เต็มพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ (ก)10 (ข)20 และ (ค)30 ที่ความหนา 12 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า



(ก)

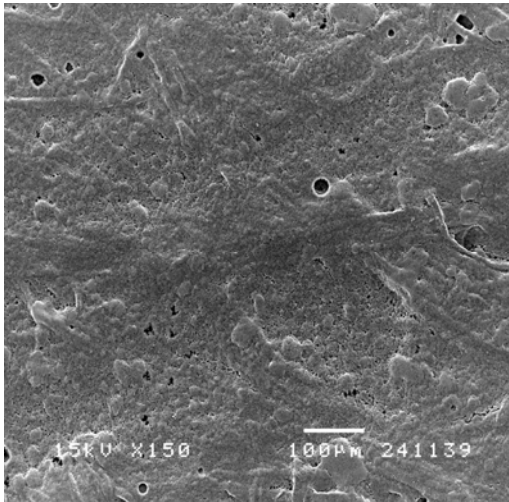


(ข)

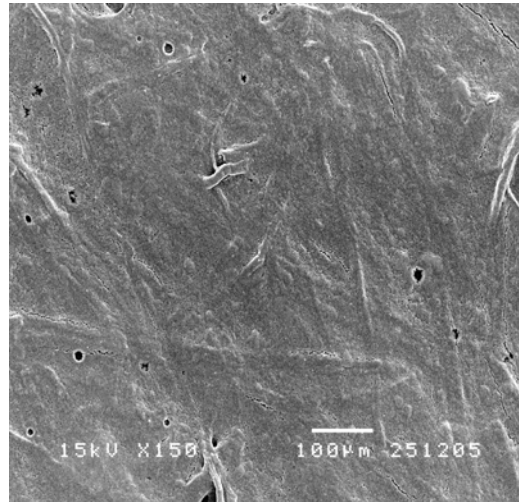


(ค)

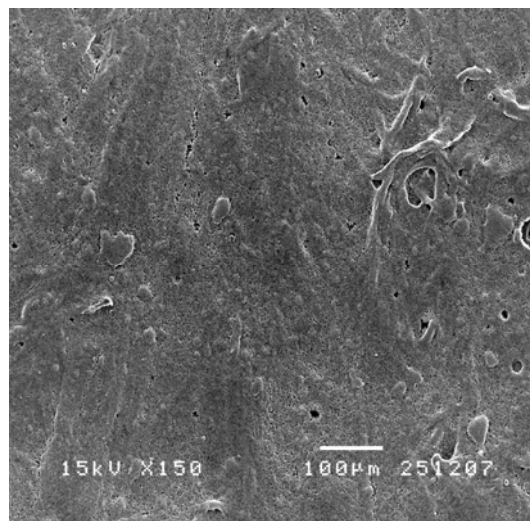
รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา (ก)4 (ข)12 และ (ค)24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า



(ก)

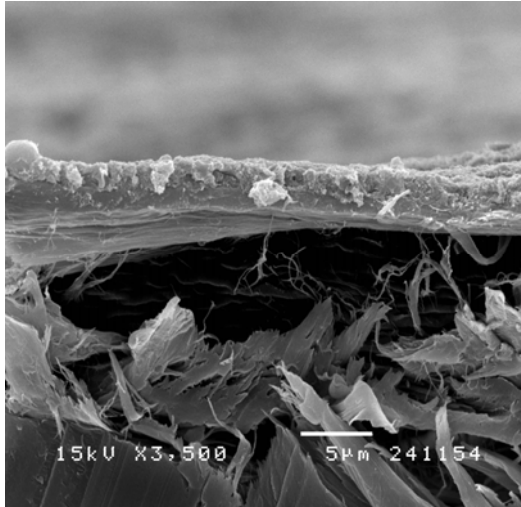


(ข)

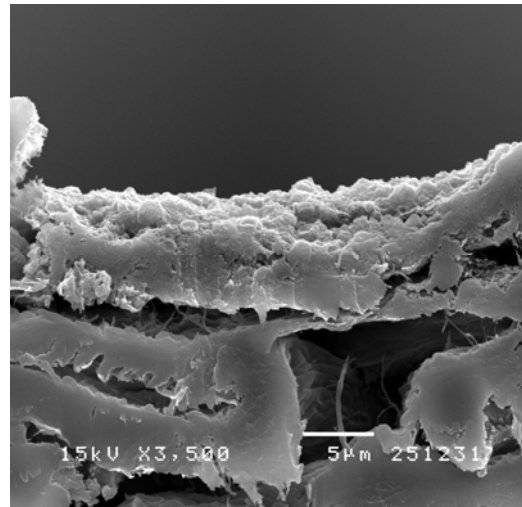


(ค)

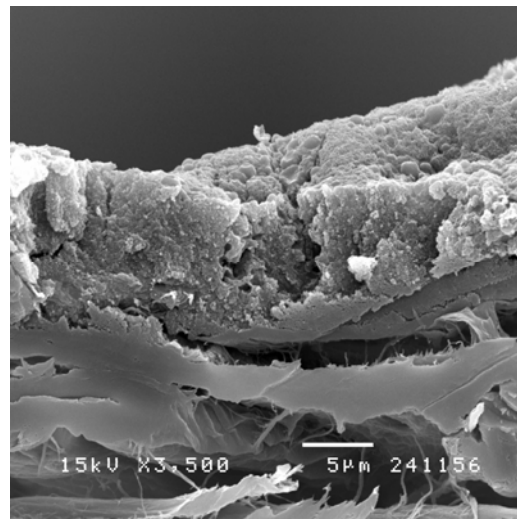
รูปที่ 4.30 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน (ก) ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10 (ข) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ (ค) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า



(ก)

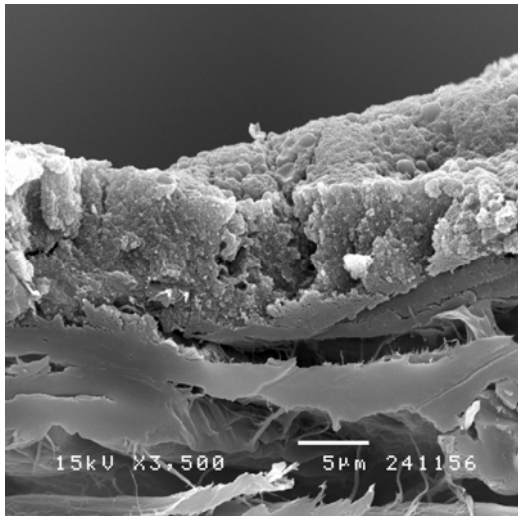


(ข)

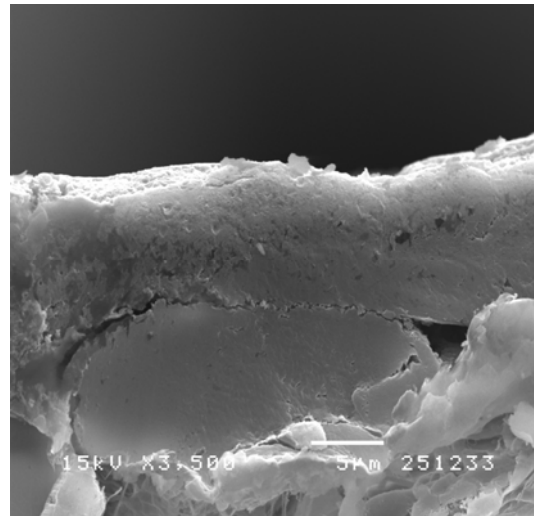


(ค)

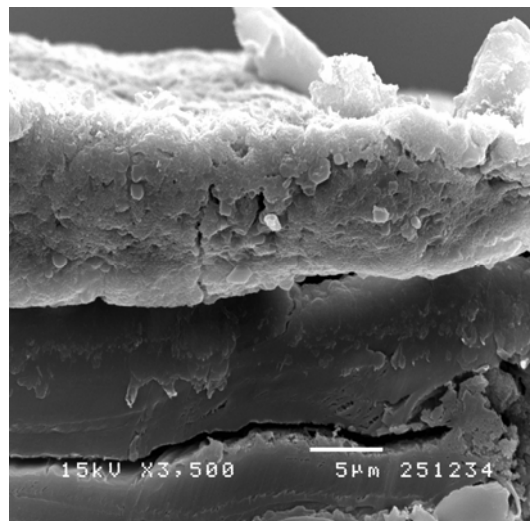
รูปที่ 4.31 ภาพถ่าย SEM ของงานพิมพ์ (ภาพตัดขวาง) เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา (ก)4 (ข) 12 และ (ค)24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)ที่กำลังขยาย 150 เท่า



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.32 ภาพถ่าย SEM ของงานฟิล์ม (ภาพตัดขวาง) เมื่อฟิล์มด้วยหมึกฟิล์มที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน (ก) ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10 (ข) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ (ค) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก) ที่กำลังขยาย 150 เท่า

4.5.4 ความมั่นคงของงานพิมพ์

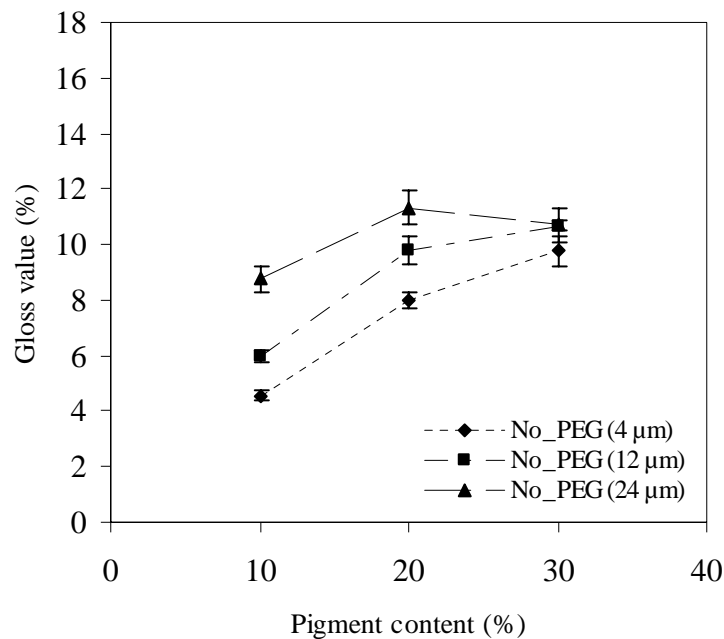
ความมั่นคงของงานพิมพ์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะผิวหน้าของงานพิมพ์ โดยค่าความมั่นคงนอกจากขึ้นอยู่กับหมึกพิมพ์แล้วยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้พิมพ์อีกด้วย โดยจากรูปที่ 4.33 - 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความมั่นคงกับปริมาณสารสีที่ใช้ พบว่าค่าความมั่นคงของงานพิมพ์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารสีที่ใช้ เมื่อใช้ปริมาณสารสีที่มากขึ้น ส่งผลให้ได้งานพิมพ์ที่เรียบขึ้น ความมั่นคงจึงสูงขึ้น โดยงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าความมั่นคงใกล้เคียงกับงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อาจบอกได้ว่างานพิมพ์ที่ความหนาหมึกพิมพ์ขณะเป็ยก 12 และ 24 ไมโครเมตร ใช้หมึกพิมพ์ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ก็เพียงพอแล้วสำหรับปิดผิวหน้ากระดาษ โดยจากรูปที่ 4.35 งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีค่าความมั่นคงของงานพิมพ์คงที่ที่ทุกความหนาเมื่อใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

ความสัมพันธ์ระหว่างความมั่นคงของงานพิมพ์กับความหนา ที่ความหนาขณะเป็ยก 4 12 และ 24 ไมโครเมตร จากรูปที่ 4.33 - 4.34 พบว่าเมื่อพิมพ์ที่ความหนาขณะเป็ยกมากขึ้น ค่าความมั่นคงสูงขึ้น เนื่องจากผิวหน้างานพิมพ์มีความเรียบมากขึ้น เพราะสารสีทำหน้าที่ช่วยในการปิดผิวหน้าของงานพิมพ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟแล้วพบว่า ปริมาณการเติมสารสีส่งผลต่อค่าความมั่นคงของงานพิมพ์มากกว่าการพิมพ์ที่ความหนาเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณการเติมสารสีร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เพียงพอแล้วสำหรับช่วยปิดผิวหน้าของงานพิมพ์ที่ความหนา 12 และ 24 ไมโครเมตร ส่งผลให้ค่าความมั่นคงมีค่าเริ่มคงที่ ส่วนหมึกพิมพ์ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีความมั่นคงของงานพิมพ์ใกล้เคียงกันในทุกๆ ความหนา นอกจากนี้จากรูปที่ 4.35 พบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีค่าความมั่นคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก โดยสาเหตุอาจเนื่องจากความแตกต่างของสมบัติด้านความเรียบของสารยึดที่ใช้

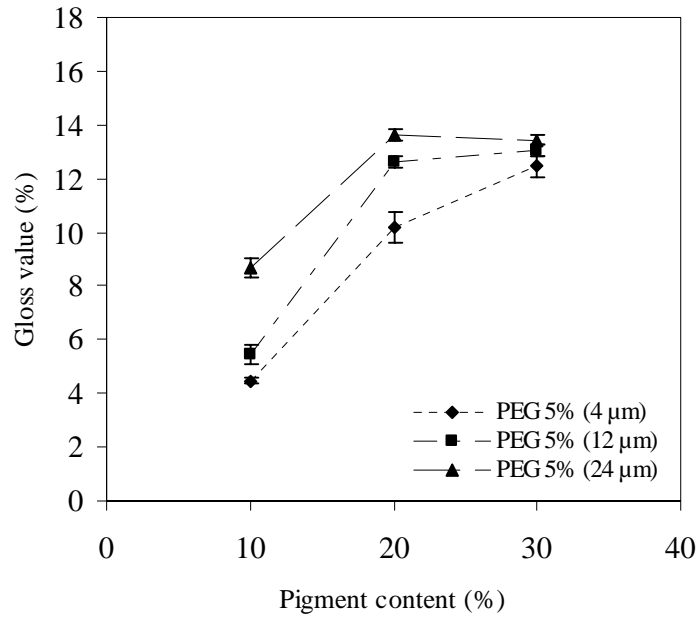
ความมั่นคงของงานพิมพ์ที่วัดได้ นอกจากขึ้นอยู่กับปริมาณสารสีและความหนาขณะเป็ยกของหมึกพิมพ์แล้ว ลักษณะการเกิดแผ่นฟิล์มของหมึกพิมพ์ที่ใช้ เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน ความมั่นคงของงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกันที่ความหนาขณะเป็ยก 24 ไมโครเมตร จากรูปที่ 4.36 พบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกันที่ปริมาณสารสีร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าความมั่นคงของงานพิมพ์ไม่แตกต่างกัน แต่ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดใส่พอลิเอทิลีนไกลคอล ให้ค่าความมั่นคงของงานพิมพ์สูงกว่า หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิด

ไม่ใช่พอลิเอทิลีนไกลคอลอย่างชัดเจน โดยสาเหตุเนื่องจากแผ่นฟิล์มของสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลมีความเรียบมากกว่าสารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล

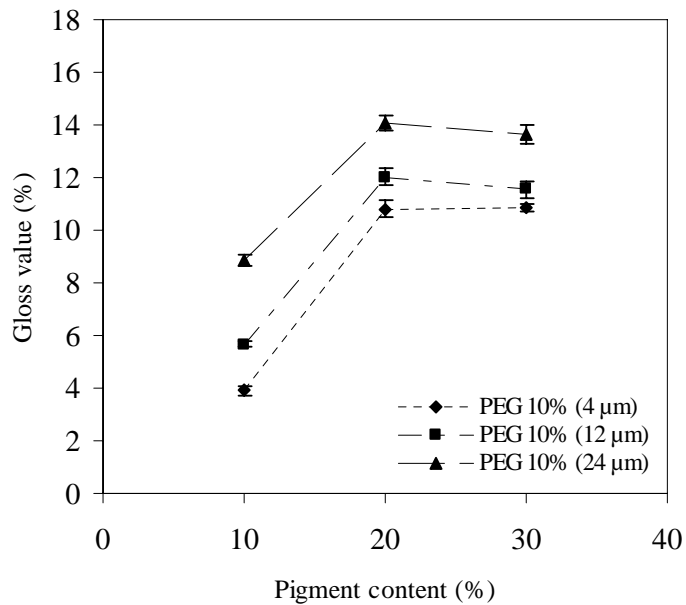
จากผลความมันวาวของงานพิมพ์ทั้งหมดแล้ว พบว่าค่าความมันวาวอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนัก โดยสาเหตุอาจเป็นไปได้ 3 ประการคือ ประการแรก เกิดจากกระดาษเหนียวเป็นกระดาษที่ผิวหน้ามีรูพรุนและไม่สม่ำเสมอมากนัก ส่งผลให้เมื่อนำไปใช้พิมพ์ หมึกพิมพ์เกิดการกอดอยู่บริเวณผิวหน้ากระดาษไม่สม่ำเสมอ ค่าความมันวาวน้อย ประการที่ 2 เกิดจากสมบัติเชิงแสง (optical property) ของสารยึดที่ใช้ เช่น ความโปร่งแสงของแผ่นฟิล์มสารยึดที่เตรียมขึ้น มีความใสไม่มากนัก และประการสุดท้าย เกิดจากหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้นั้น ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง (additive) เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติเชิงแสง



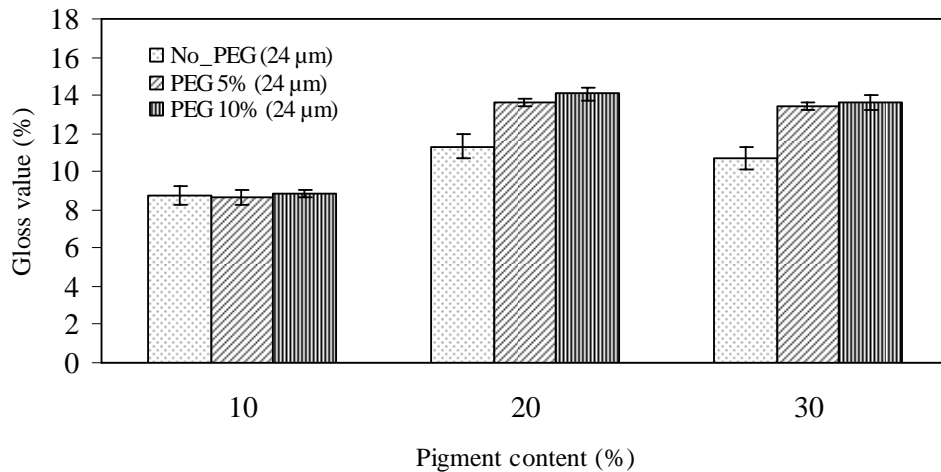
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีกับความมันวาวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีกับความมันวาวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)



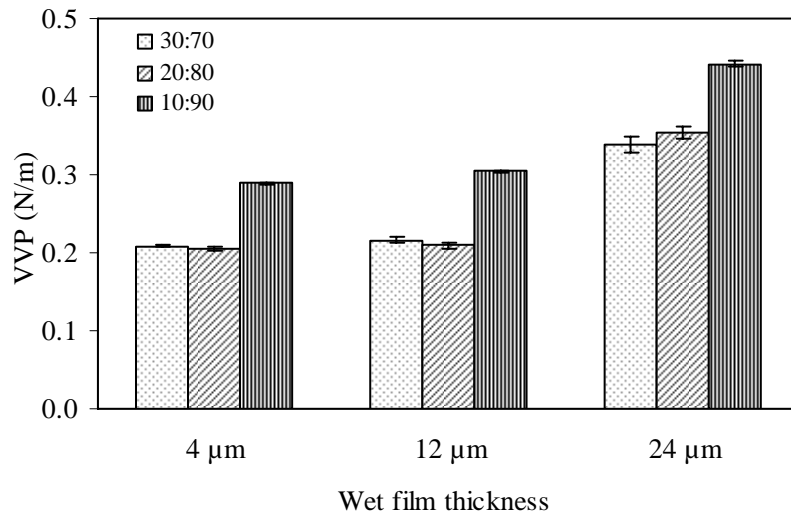
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีกับความมันวาวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)



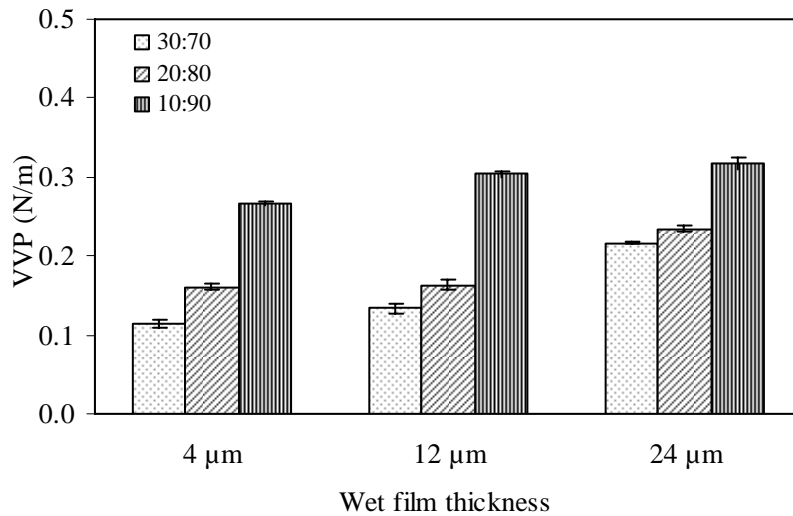
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความมันวาวของงานพิมพ์กับปริมาณสารสีในหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

4.5.5 สมบัติความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์

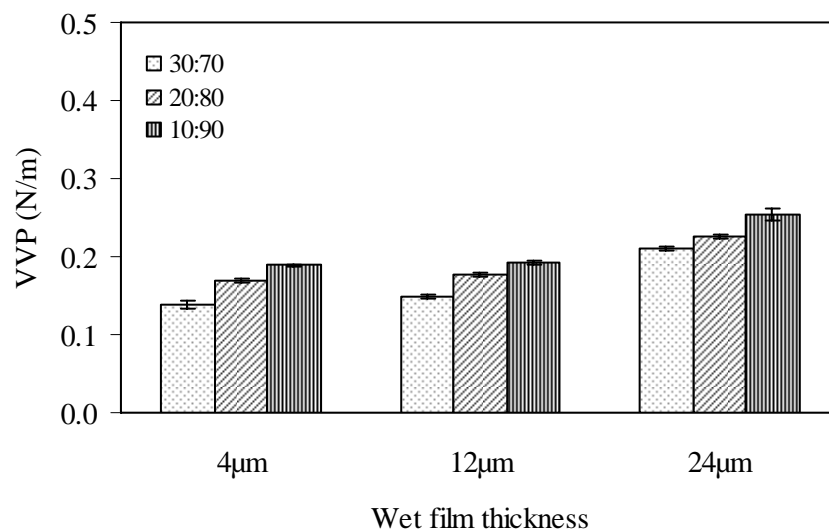
การทดสอบความต้านทานทานการถอนผิว (picking) ของงานพิมพ์ สามารถนำมาใช้อธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดต่างๆ กับกระดาษที่ใช้ โดยถ้าค่าความต้านทานการถอนผิวมีค่าสูง แสดงให้เห็นสารยึดในหมึกพิมพ์สามารถยึดติด (adhesion) กับกระดาษเหนียวได้ดี จากรูปที่ 4.37 แสดงค่าความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณสารสี 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนาขณะเปียกแตกต่างกัน พบว่าค่าความต้านทานการถอนผิวสัมพันธ์กับความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ และปริมาณของสารยึดที่ใช้ โดยเมื่อใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานการถอนผิวสูงสุด ส่วนหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานการถอนผิวที่ใกล้เคียงกัน อธิบายได้ว่าหมึกพิมพ์ที่ผสมสารยึดปริมาณสูง (สารสีต่ำ) สารยึดมีปฏิสัมพันธ์กับกระดาษมากขึ้น การยึดติดดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์ที่มีความหนามากขึ้น ส่งผลให้การยึดติดดีขึ้น โดยงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 มีแนวโน้มของความต้านทานการถอนผิวที่สัมพันธ์กับความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ และปริมาณของสารยึดที่ใช้เช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.38 – 4.39)



รูปที่ 4.37 แผนภูมิความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)

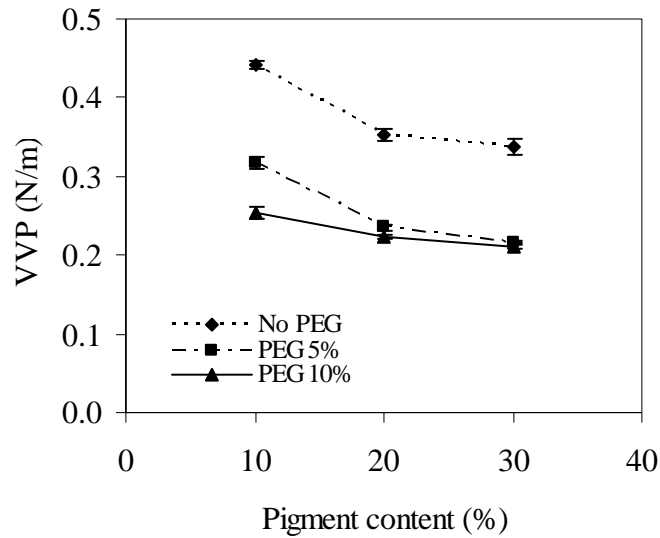


รูปที่ 4.38 แผนภูมิความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)



รูปที่ 4.39 แผนภูมิความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)

ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดต่างชนิดกัน แสดงในรูปที่ 4.40 ผลพบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความต้านทานการถอนผิวสูงที่สุดในทุกปริมาณสารสีที่ใช้ ส่วนงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 มีค่าความต้านทานการถอนผิวใกล้เคียงกันที่ปริมาณสารสี 20 และ 30 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์มากกว่า หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ดังนั้นชนิดของสารยึดที่ใช้ ส่งผลต่อค่าความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ ซึ่งสารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีคุณสมบัติสภาพแก้วสูงกว่าสารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 ส่งผลให้แผ่นฟิล์มของสารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความแข็งแรงมากกว่า ทำให้เมื่อนำมาใช้ในหมึกพิมพ์แล้ว มีค่าความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์มากกว่า



รูปที่ 4.40 ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)

4.5.6 สมบัติความต้านทานการขัดถูขณะแห้งของงานพิมพ์

ค่าความเข้มสี (color strength) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสี โดยถ้าค่าความเข้มสีสูงหมายความว่ามีความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสีมาก ซึ่งสามารถคำนวณความเข้มสีได้จากสมการของ Kubelka-Munk

$$\left(\frac{K}{S}\right) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (6)$$

โดยที่ K คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง

S คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงของแสง

R คือ ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด

ค่าความแตกต่างของความเข้มสีเป็นค่าที่บอกถึงความแตกต่างของการดูดกลืนแสงของสารสี โดยถ้าความแตกต่างของความเข้มสีในบริเวณก่อนและหลังขัดถูสูง แสดงว่ามีการหลุดลอกของสารสี

มาก จากตารางที่ 4.12 แสดงค่าความต้านทานการขจัดขูดถูณะแห้งของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดติดต่างชนิดกัน ที่ปริมาณสารสี 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้ปริมาณสารสีมาก มีค่าความแตกต่างของความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการหลุดลอกของสีของงานพิมพ์บริเวณก่อนและหลังขจัดขูดสูงขึ้นไป ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากมีโอกาสที่สารสีส่วนเกินหลุดออกมากขึ้น โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดติดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีค่าความแตกต่างของความเข้มข้นทั้งสองบริเวณน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากค่าคุณสมบัติสภาพแก้วของแผ่นฟิล์มสารยึดติดมีค่าต่ำ ดังนั้นแผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นที่ดี ให้ความเรียบของแผ่นฟิล์มที่มากกว่า ซึ่งความเรียบของแผ่นฟิล์มของสารยึดติดส่งผลต่อการขจัดขูด เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่มีเรียบมาก เมื่อมีวัสดุมาเสียดสีบริเวณผิวหน้า สารสีบริเวณผิวหน้าจึงเกิดการหลุดออกมาได้น้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่มีความขรุขระ

จากตารางที่ 4.13 แสดงค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของงานพิมพ์ก่อนและหลังขจัดขูด เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดติดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนาขณะเป็ยกแตกต่างกัน พบว่าความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ ส่งผลต่อความต้านทานการขจัดขูดแห้ง เมื่อที่ความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของงานพิมพ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่สูงขึ้น ชั้นสารสีส่วนเกินจึงอาจหลุดลอกออกมาได้

นอกจากนี้ผลการทดลองความแตกต่างสีพบว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณสารสีและความหนาต่างๆ มีผลสอดคล้องกับผลของความแตกต่างของความเข้มข้นและมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ด้วยตา แสดงให้เห็นว่ามีระดับการยึดติดที่ดี (ตารางที่ 4.14 – 4.15)

ตารางที่ 4.12 ความแตกต่างของความเข้มข้นของงานพิมพ์ก่อนและหลังขจัดขูด เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 12 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเป็ยก)

% Pigment Inks	Difference of color strength ($\Delta K/S$)		
	10	20	30
No PEG	0.15	0.44	0.62
PEG 5%	0.13	0.43	0.58
PEG 10%	0.08	0.28	0.35

ตารางที่ 4.13 ความแตกต่างความเข้มสีระหว่างงานพิมพ์ก่อนและหลังขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร(ความหนาขณะเปียก)

Wet film thickness (μm)	Difference of color strength ($\Delta K/S$)
4	0.3
12	0.35
24	0.44

ตารางที่ 4.14 ความแตกต่างสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 12 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)

% Pigment Inks	ΔE_{ab}^*		
	10	20	30
No PEG	0.47	0.51	0.92
PEG 5%	0.32	0.47	0.62
PEG 10%	0.29	0.44	0.59

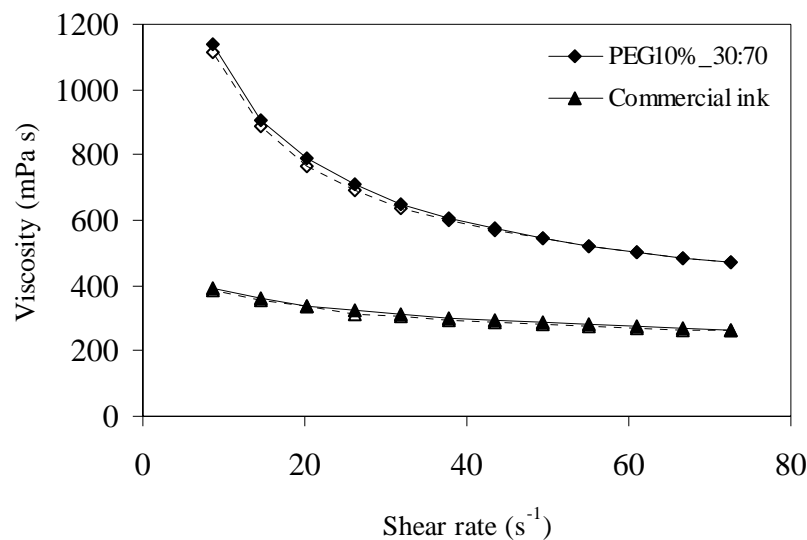
ตารางที่ 4.15 ความแตกต่างสีระหว่างงานพิมพ์ก่อนและหลังขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร(ความหนาขณะเปียก)

Wet film thickness (μm)	ΔE_{ab}^*
4	0.49
12	0.59
24	0.8

4.6 การเปรียบเทียบหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

4.6.1 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) ซึ่งมีคุณภาพงานพิมพ์ที่ดี กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว แสดงในรูปที่ 4.41 พบว่าเป็นแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด โดยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) มีความหนืดสูงกว่า และมีระดับการเกิดพฤติกรรมแรงเฉือนลดมากกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากชนิดของสีย้อมที่ใช้ในหมึกพิมพ์ และองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

จากตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์สองชนิด พบว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ มีแรงตึงผิวต่ำกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว โดยสาเหตุอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสีย้อมที่ใช้ โดยสีย้อมชีวภาพพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่เตรียมได้ มีการ

เติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณหนึ่ง จึงส่งผลให้มีแรงตึงผิวต่ำกว่า นอกจากนี้หมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้มีร้อยละของของแข็งหมึกพิมพ์ต่ำกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า

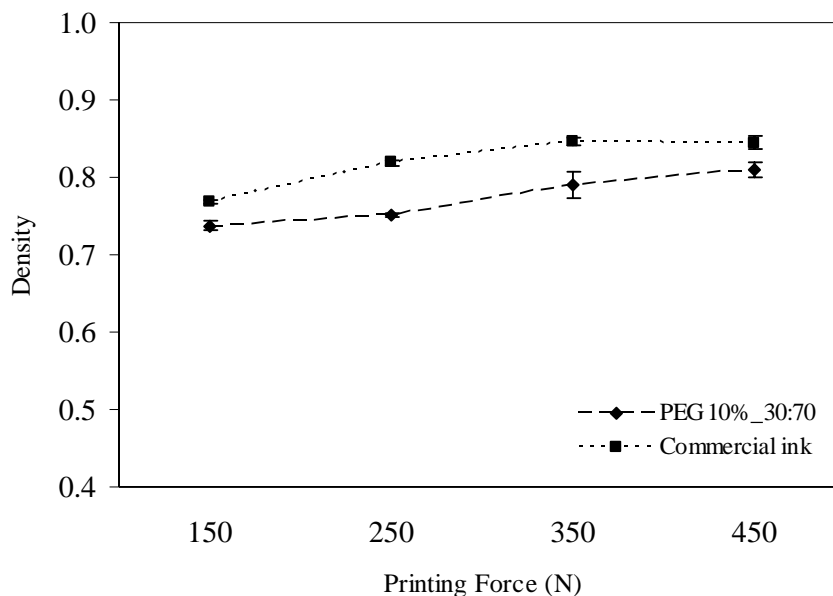
ตารางที่ 4.16 แรงตึงผิวและร้อยละของเนื้อหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

Properties	Formulated ink (Pigment 30 %, PEG 10%)	Commercial ink
Surface tension (mN/m)	30.4 ± 0.1	35 ± 1
Solids content (%)	26.1 ± 0.6	35.1 ± 1.2

4.6.2 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ระหว่างงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ เฟล็กโซสีชีวภาพกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

4.6.2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความดำของงานพิมพ์

จากรูปที่ 4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดำของงานพิมพ์บริเวณพื้นตาย (solid tone) ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า พบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดเมื่อพิมพ์ที่แรงกดพิมพ์เพิ่มมากขึ้น ค่าความดำของงานพิมพ์สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มแรงกดพิมพ์ที่ใช้ ส่งผลให้หมึกพิมพ์ถ่ายโอนจากแม่พิมพ์สู่วัสดุพิมพ์ได้มากขึ้น ทำให้ค่าความดำสูงขึ้น งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า มีค่าความดำที่สูงกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ ที่แรงกดพิมพ์เดียวกัน ซึ่งเกิดจากค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำหมึกพิมพ์สามารถถ่ายโอนได้มากกว่า นอกจากนี้อาจเกิดจากร้อยละของเนื้อสีของหมึกพิมพ์ทางการค้ามีเนื้อสีสูง ทำให้ค่าความดำมากกว่า สรุปได้ว่าค่าความดำของงานพิมพ์มีความสัมพันธ์กับแรงกด ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ใช้ และร้อยละของเนื้อสี ซึ่งหมึกพิมพ์ทางการค้าใช้แรงกดพิมพ์ต่ำกว่า ได้ค่าความดำดีกว่า



รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดพิมพ์กับค่าความดำของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

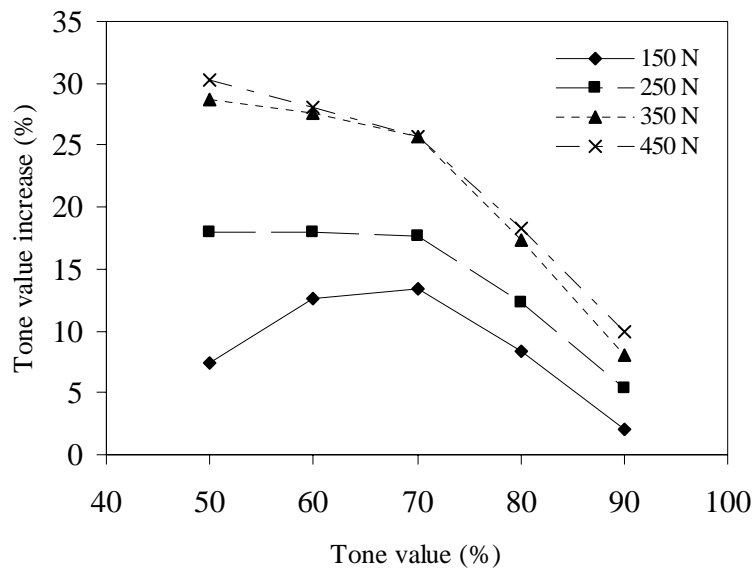
4.6.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเม็ดสกรีนบวมและคุณภาพเส้นของงานพิมพ์

จากรูปที่ 4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ต่างชนิดกัน ที่แรงกดพิมพ์ต่างๆ พบว่าเมื่อพิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์ที่มากขึ้น ค่าเม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์สูงขึ้น โดยทั้งนี้สมบัติทางกายภาพของแม่พิมพ์เพล็กไซกราฟิ์ ซึ่งผลิตจากพอลิเมอร์ที่มีความหยุ่นตัว สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้เมื่อมีแรงมากระทำ โดยเมื่อแรงกดพิมพ์มากขึ้น ทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์เพิ่มขึ้น ค่าเม็ดสกรีนบวมจึงมากขึ้น ที่แรงกดพิมพ์ 350 และ 450 นิวตัน มีค่าเม็ดสกรีนบวมใกล้เคียงกัน แต่ที่แรงกดพิมพ์ 150 และ 250 นิวตัน งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้มีค่าเม็ดสกรีนบวมมากกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เม็ดสกรีนบริเวณเงา ซึ่งสาเหตุเกิดจากความลึกของการซึมของหมึกพิมพ์จากตารางที่ 4.17 พบว่าหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้มีความลึกของการซึมลงวัสดุพิมพ์ได้น้อยกว่า ส่งผลให้หมึกพิมพ์มีการแผ่ออกด้านข้างมากกว่าหมึกพิมพ์เพล็กไซทางการค้า โดยการคาดเดาความลึกของการซึมเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นต่อไปได้ โดยค่าเม็ดสกรีนบวมมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้อธิบายคุณภาพงานพิมพ์แบบสอดสีเป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับการพิมพ์บนกระดาษเหนียวแล้วจะพิมพ์พื้นตายเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นความคมชัดและขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการนำไปใช้งานมากกว่า

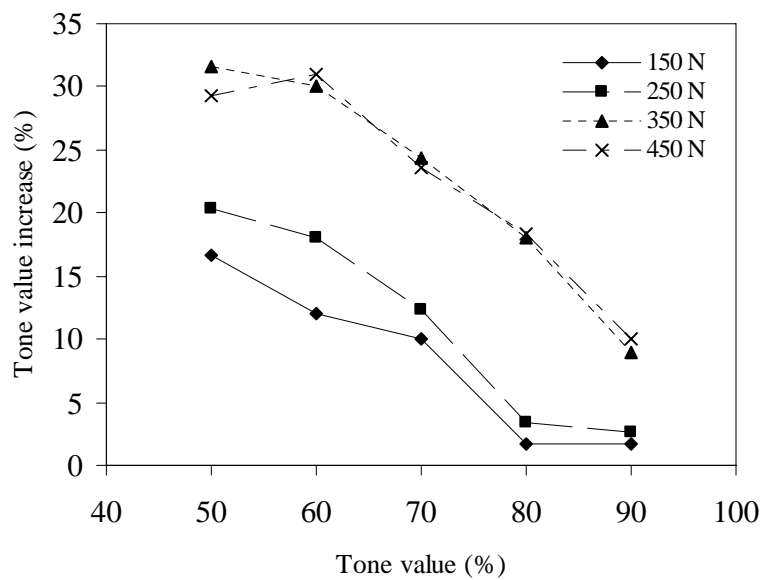
จากรูปที่ 4.44 – 4.45 แสดงภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สองชนิด ที่แรงกดพิมพ์แตกต่างกัน เห็นว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สองชนิดมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือเส้นมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อพิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์มากขึ้น และที่แรงกดพิมพ์ 350 และ 450 นิวตัน เส้นมีขนาดใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.17 ค่ารากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิวกับความหนืด

Inks	$(\gamma/\eta_0)^{1/2}$
PEG 10% 30:70	0.102
Commercial ink	0.242

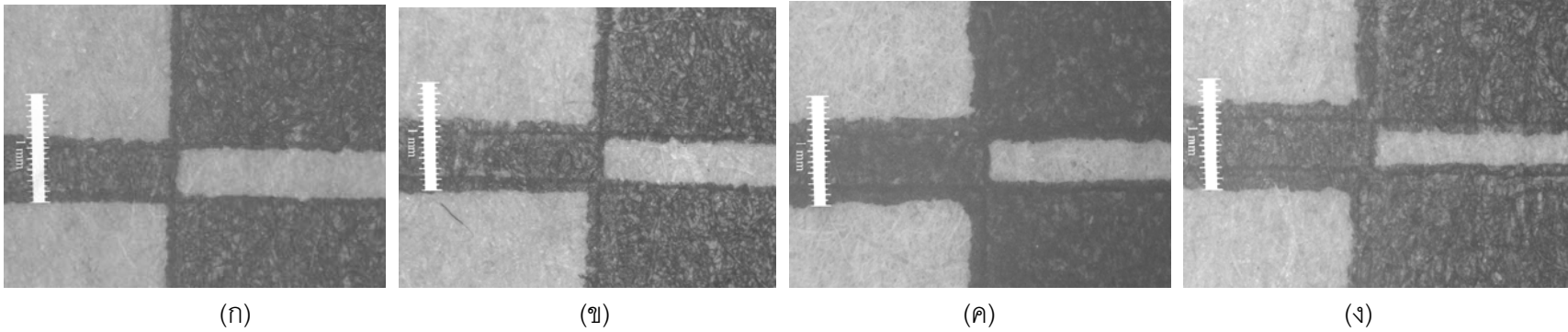


(ก)

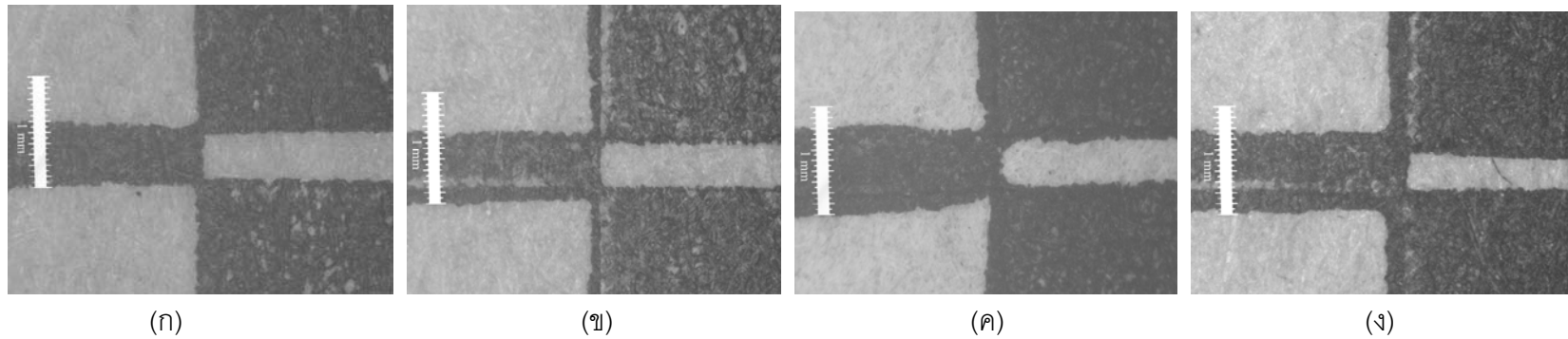


(ข)

รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ค่าเมตริกอินบวมของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วย (ก)หมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) และ (ข)หมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่แรงกดพิมพ์แตกต่างกัน



รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก)150 N (ข)250 N (ค)350 N และ (ง)450 N



รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียวด้วยแรงกดพิมพ์ (ก)150 N (ข)250 N (ค)350 N และ (ง)450 N

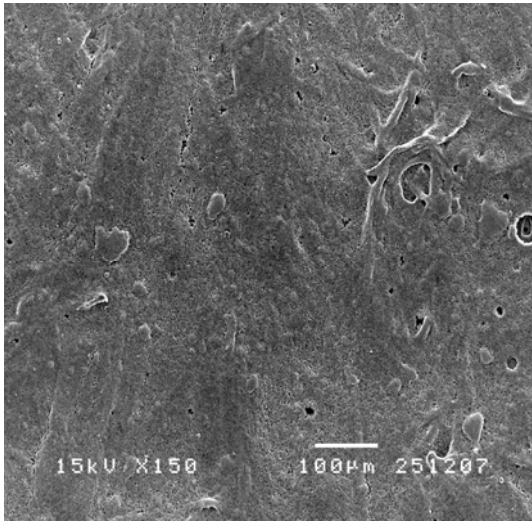
จากตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบการแผ่ของหมึกพิมพ์สองชนิดบนวัสดุพิมพ์ พบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด เมื่อพิมพ์ที่แรงกดพิมพ์มากขึ้น เส้นเกิดการขยายมากขึ้น ที่แรงกดพิมพ์ 150 และ 250 นิวตัน งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฟลักโซชีวภาพที่เตรียมได้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นมากกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้า โดยสาเหตุเกิดจากหมึกพิมพ์ทางการค้าสามารถซึมได้ลึกกว่า ส่งผลให้เกิดการแผ่น้อยลง ขนาดของเส้นเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า แต่ที่แรงกดพิมพ์ 350 และ 450 นิวตัน ขนาดของเส้นที่ขยายมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้หมึกพิมพ์ต่างชนิดกัน สามารถบอกได้ว่าที่แรงกดพิมพ์สูง ชนิดของหมึกพิมพ์ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้น แต่การเปลี่ยนรูปร่างของแม่พิมพ์มีอิทธิพลมากกว่า

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบการแผ่ของหมึกพิมพ์ฟลักโซชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์ฟลักโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว บนงานพิมพ์เส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่แรงกดแตกต่างกัน

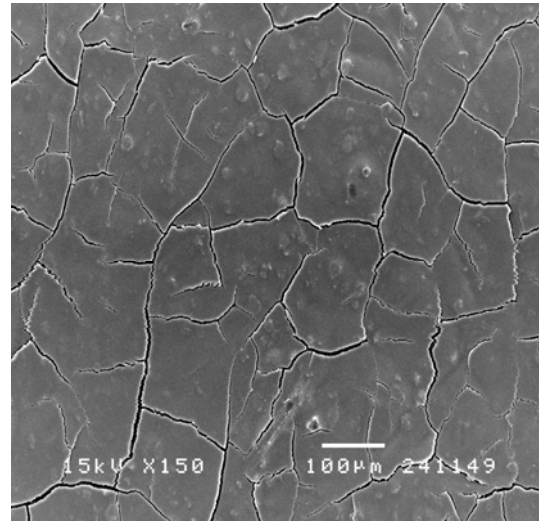
Printing Force (N) Inks	Bleeding (%)			
	150	250	350	450
Formulated ink (Pigment 30%, PEG 10%)	20 ± 0.02	32 ± 0.01	58 ± 0.01	60.7 ± 0.01
Commercial ink	10.7 ± 0.01	25.3 ± 0.03	59.3 ± 0.01	58 ± 0.01

4.6.2.3 ผลการเปรียบเทียบภาพถ่าย SEM บริเวณผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์

ภาพถ่ายแสดงผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร แสดงในรูปที่ 4.46 – 4.47 พบว่า ผิวหน้าของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) มีความเรียบน้อยกว่า แต่ไม่มีลักษณะของรอยแตกของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์เหมือนกับหมึกพิมพ์ฟลักโซทางการค้า นอกจากนี้ภาพตัดขวางของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดบ่งบอกได้ว่า ความหนาขณะแห้งของชั้นหมึกพิมพ์ทั้งสองมีความหนาประมาณ 15 - 20 ไมโครเมตร

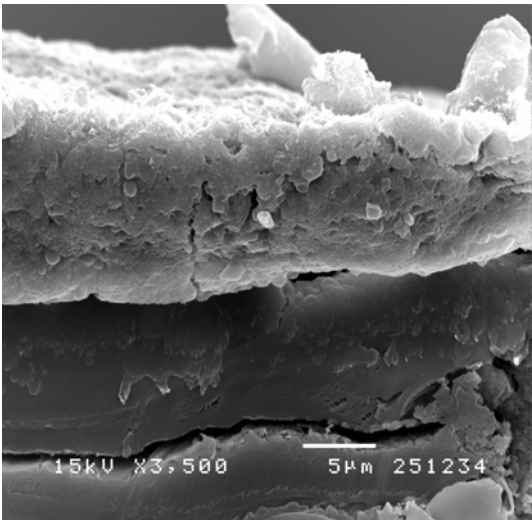


(ก)

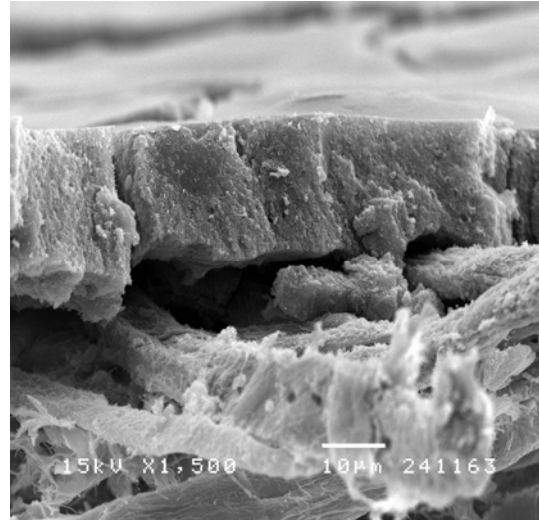


(ข)

รูปที่ 4.46 ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก)หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 และ (ข)หมึกพิมพ์เพลิกโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)



(ก)

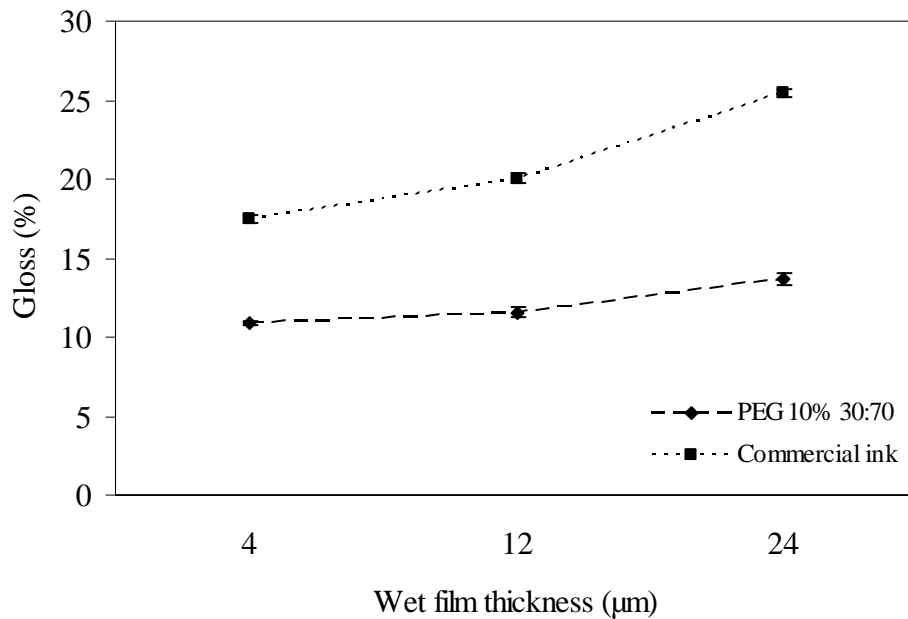


(ข)

รูปที่ 4.47 ภาพถ่าย SEM ภาพตัดขวางของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก)หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 และ (ข)หมึกพิมพ์เพลิกโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนา 24 ไมโครเมตร (ความหนาขณะเปียก)

4.6.2.4 ผลการเปรียบเทียบความมันวาวของงานพิมพ์

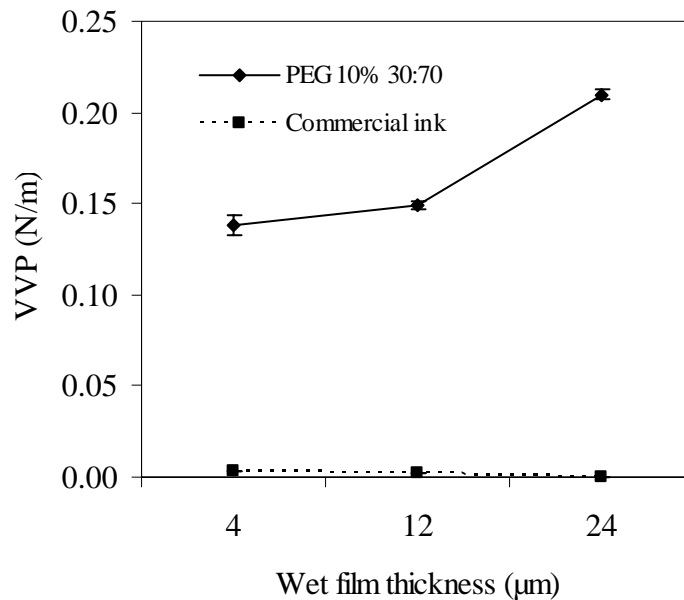
จากกราฟที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สองชนิด พบว่าหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมีความมันวาวมากขึ้นเมื่อพิมพ์ที่ความหนามากขึ้น โดยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า มีค่าความมันวาวสูงกว่าหมึกพิมพ์ชีวภาพ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) ในทุกๆ ความหนา ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องจาก 2 สาเหตุ สาเหตุแรก เกิดจากงานพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้ามีความเรียบของผิวหน้าสูงกว่า (รูปที่ 4.46) ส่งผลให้มันวาวมากกว่า และสาเหตุที่สอง อาจเกิดจากหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมขึ้นมา นั้น ปราศจากการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยสมบัติเชิงแสง



รูปที่ 4.48 ความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนาหมึกพิมพ์ต่างๆ

4.6.2.5 ผลเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์

จากกราฟที่ 4.49 แสดงความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดที่ความหนาแตกต่างกัน พบว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้ามีค่าความต้านทานการถอนผิวที่ต่ำมาก (ใกล้ศูนย์) ส่วนหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) มีค่าความต้านทานการถอนผิวที่สูงกว่า เมื่อพิมพ์ที่ความหนามากขึ้น ความต้านทานการถอนผิวก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่าความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ บอกได้ถึงการยึดติดระหว่างหมึกพิมพ์กับกระดาษ ซึ่งถ้าค่าการถอนผิวของงานพิมพ์สูงกว่า บอกได้ว่าการยึดติดที่ดีกว่าระหว่างหมึกพิมพ์กับกระดาษ



รูปที่ 4.49 ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนาของหมึกพิมพ์ต่างๆ

4.6.2.6 ผลเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานการขีดถูของงานพิมพ์

จากตารางที่ 4.19 แสดงค่าความแตกต่างของความเข้มสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขีดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด โดยค่าความแตกต่างของความเข้มสีเป็นค่าที่ใช้อธิบายถึงความต้านทานการขีดถู เนื่องจากถ้าสารสีบริเวณผิวหน้าของงานพิมพ์มีการหลุดลอกมาก ค่าความแตกต่างของความเข้มสีก่อนและหลังการขีดถูจะมีค่าสูง ผลพบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด เมื่อพิมพ์ที่ความหนามากขึ้น ค่าความแตกต่างของความเข้มสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขีดถูสูงขึ้น นอกจากนี้งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ (สารสีร้อยละ 30, PEG 10%) มีค่าความแตกต่างของความเข้มสีน้อยกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้า ซึ่งอาจเป็นสาเหตุมาจากชนิดของสารสี และปริมาณการเติมสารสีที่มีความแตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.20 พบว่าค่าความแตกต่างสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขีดถู ที่พิมพ์ด้วยหมึกทั้งสองชนิด มีค่าที่ไม่สูงนัก จึงอาจบอกได้ว่าหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการต้านทานการขีดถูที่ดี

ตารางที่ 4.19 ค่าความแตกต่างของความเข้มสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขีดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

Rub resistance Wet film thickness (μm)	Difference of color strength ($\Delta K/S$)	
	Formulated ink (Pigment 30%, PEG 10%)	Commercial ink
4	0.3	1.27
12	0.35	1.39
24	0.44	1.99

ตารางที่ 4.20 ค่าความแตกต่างสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซสีคุณภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

Rub resistance Wet film thickness (μm)	ΔE_{ab}^*	
	Formulated ink (Pigment 30%, PEG 10%)	Commercial ink
4	0.49	0.28
12	0.59	0.45
24	0.8	1.01

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์สำหรับการพิมพ์กระดาษเหนียว ผลการทดลองในส่วนของการศึกษาสารยึดพอลิแล็กไทด์อิมัลชันพบว่า พอลิแล็กไทด์อิมัลชันทั้งสามชนิดที่เตรียมได้ มีเสถียรภาพที่ดี ไม่เกิดการแยกชั้นหรือตกตะกอน และมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร โดยการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในอิมัลชันส่งผลให้อนุภาคที่เตรียมได้มีขนาดเล็กลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ซึ่งขนาดอนุภาคของพอลิแล็กไทด์อิมัลชันส่งผลต่อสมบัติการไหล โดยสมบัติการไหลของอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิด เป็นแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลด ซึ่งการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ทำให้ค่าความหนืดและระดับของพฤติกรรมแรงเฉือนลดของพอลิแล็กไทด์อิมัลชันลดลง ค่าศักย์ซีต้าของพอลิแล็กไทด์อิมัลชันทั้งชนิดที่เติมและไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลมีค่าอยู่ในช่วง - 40 ถึง - 60 mV ดังนั้นอิมัลชันสามารถกระจายตัวได้ดี ซึ่งการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลในขณะที่เตรียมอิมัลชันส่งผลให้อุณหภูมิสภาพแก้วของสารยึดมีค่าลดลง นอกจากนี้แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันทั้ง 3 ชนิด มีความเรียบที่ดีขึ้น เมื่อใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวมากขึ้น โดยแผ่นฟิล์มของพอลิแล็กไทด์ชนิดที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 มีความเรียบของแผ่นฟิล์มสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิสภาพแก้วของสารยึดมีค่าต่ำที่สุด

ผลการศึกษาสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์ 3 ชนิด พบว่าเมื่อใช้ปริมาณของสารสีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 20 และ 30 หมึกพิมพ์มีความหนืดและแรงตึงผิวสูงขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของหมึกพิมพ์สูงขึ้น เนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารสีกับสารยึดเพิ่มมากขึ้น โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความหนืดและแรงตึงผิวต่ำกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เมื่อนำหมึกพิมพ์ไปทดสอบพิมพ์และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์พบว่า เมื่อใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ค่าความดันบนพื้นตายและค่าเม็ดสกปรกในช่องมิดโทนถึงบริเวณเงาของงานพิมพ์มีค่าสูงสุด ซึ่งหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ 10 มีค่าความดันใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำสามารถถ่ายโอนได้ดี ความสม่ำเสมอมากกว่า โดยหมึกพิมพ์

ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 มีค่าเม็ดสกรีนบวมบริเวณมิดโทจนถึงบริเวณเงา น้อยที่สุด โดยสาเหตุมาจากความหนืดและแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ แต่ที่บริเวณไฮไลท์หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดทั้ง 3 ชนิด มีค่าเม็ดสกรีนบวมใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ความมั่นคงของงานพิมพ์มีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้ปริมาณสารสีหรือพิมพ์ด้วยความหนาชั้นหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น ซึ่งหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความมั่นคงสูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยสาเหตุสำคัญเนื่องจากความเรียบของงานพิมพ์ที่สูงขึ้น การพิมพ์ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์หรือใช้ปริมาณของสารยึดมากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์สูงขึ้น โดยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มีความต้านทานการถอนผิวสูงที่สุดในทุกปริมาณสารสีที่ใช้ นอกจากนี้หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติการต้านทานการขัดถูที่ดีมาก ในทุกๆ ปริมาณสารสี จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่า หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลให้คุณภาพงานพิมพ์ในเรื่องของ ค่าความดำ ค่าเม็ดสกรีนบวม คุณภาพเส้น ความสม่ำเสมอ และความมั่นคงที่ดีกว่า แต่สมบัติด้านความต้านทานการถอนผิวต่ำกว่า ส่วนสมบัติความต้านทานการขัดถู หมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดทั้ง 3 ชนิดมีผลใกล้เคียงกัน

เมื่อนำหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มาเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว พบว่าหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้มีความหนืดสูงกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า แต่มีแรงตึงผิวที่ต่ำกว่า โดยสาเหตุเนื่องจากลักษณะเฉพาะของสารยึดที่ใช้มีความแตกต่างกัน เมื่อนำหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมาพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่แรงกดพิมพ์ต่างๆ กัน และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ พบว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ มีค่าความดำน้อยกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า แต่มีความสม่ำเสมอของงานพิมพ์มากกว่า ส่วนค่าเม็ดสกรีนบวม และขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบที่แรงกดเดียวกัน โดยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดเมื่อพิมพ์ที่แรงกดพิมพ์เพิ่มขึ้น ค่าความดำ ค่าเม็ดสกรีนบวม ขนาดของเส้น และความสม่ำเสมอของงานพิมพ์ มีค่าที่สูงขึ้น โดยที่แรงกดพิมพ์ 350 นิวตัน เป็นแรงกดพิมพ์น้อยที่สุดที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ นอกจากนี้หมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ ให้ความมั่นคงของงานพิมพ์ต่ำกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า เนื่องจากความเรียบของงานพิมพ์ที่ต่ำกว่า ในขณะที่สมบัติความต้านทานการถอนผิว หมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้มีค่าสูงกว่า โดยที่เมื่อพิมพ์ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ชีวภาพมากขึ้นความต้านทานการถอนผิวมีค่าสูงขึ้น แต่สมบัติความต้านทานการขัดถูของงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดอยู่ในระดับดีมาก จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้มีความสม่ำเสมอและสมบัติด้านความต้านทานของงานพิมพ์ที่ดี แต่ค่าความดำและความมั่นคงต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการวิธีเตรียมพอลิแล็กไทด์อิมัลชันให้ได้ร้อยละของของแข็ง (solids content) ที่สูงขึ้น
2. ทำการเติมสารเติมแต่งในหมึกพิมพ์เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติหมึกพิมพ์ให้ดีขึ้น อาทิเช่น สารที่ช่วยเพิ่มความมันวาว
3. ควรนำหมึกพิมพ์ชีวภาพที่เตรียมได้ไปทดลองพิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์อื่นๆ เช่น กระดาษชนิดอื่น หรือ พลาสติก เป็นต้น
4. ศึกษาระยะเวลาและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายของหมึกพิมพ์ชีวภาพ
5. เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ระหว่างหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้า เมื่อปรับสมบัติของหมึกพิมพ์ให้มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น ความหนืด และ แรงตึงผิว เป็นต้น
6. เปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซชีวภาพกับมาตรฐานหมึกพิมพ์ ISO 2846-5

รายการอ้างอิง

- [1] Moore, G.F. and Saunders, S.M., Advances in Biodegradable Polymers, Rapra Review Reports, 9, 1997, 2-6.
- [2] Gebelein, C.G., Biotechnological Polymers: Medical Pharmaceutical and Industrial Applications. 1st ed, Technomic Pub Co, Atlanta, Georgia, 1993.
- [3] มัณฑนา โภคาประกาศิต, พอลิเมอร์วัสดุเอนกประสงค์ [Online]. Available from: <http://www.vcharkarn.com>, Accessed on 6/03/2009.
- [4] Shah, A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S., Biological degradation of plastic: A comprehensive review, Biotechnology Advances 26, 2008, 246-265.
- [5] Lunt, J., Large-scale production, properties and commercial applications of poly(lactic acid) polymer, Polymer Degradation and Stability 59, 1998, 145-152.
- [6] Polymerization of lactide to polylactide [Online]. Available from: <http://www.niir.org>, Accessed on 27/8/08.
- [7] Leach, R.H., Pierce, R.J., Hickman, E.P., Mackenzie, M.J., and Smith, H.G., The Printing Ink Manual. 5th ed, Cornwall : TJ Press, 1993.
- [8] Steadman, R., Woodall, M. and Lesniak, M., The Flexographic Printability of Linerboard Proc. 47th Appita Ann. Gen.Conf., Rotorua, New Zealand, 2, 1993, 629-637.
- [9] Donnet, J.B.; Bansal, R. C.; Wang, M.J., Carbon Black: Science and Technology, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 1993, 461.
- [10] Cusdin, G., In Flexography: Principles & Practices, Foundation of Flexographic Technical Association, Ronkonkoma, NY, 5th ed.1, 1999, 1-35.
- [11] Todd, R.E., Printing inks: Formulation principles, manufacture and quality control testing procedures, Pira International, Surrey, UK, 1994.
- [12] Rentzhog, M., Water-based flexographic printing on polymer coated board. Doctoral thesis, Institute for surface chemistry, Royal institute of technology, 2006.

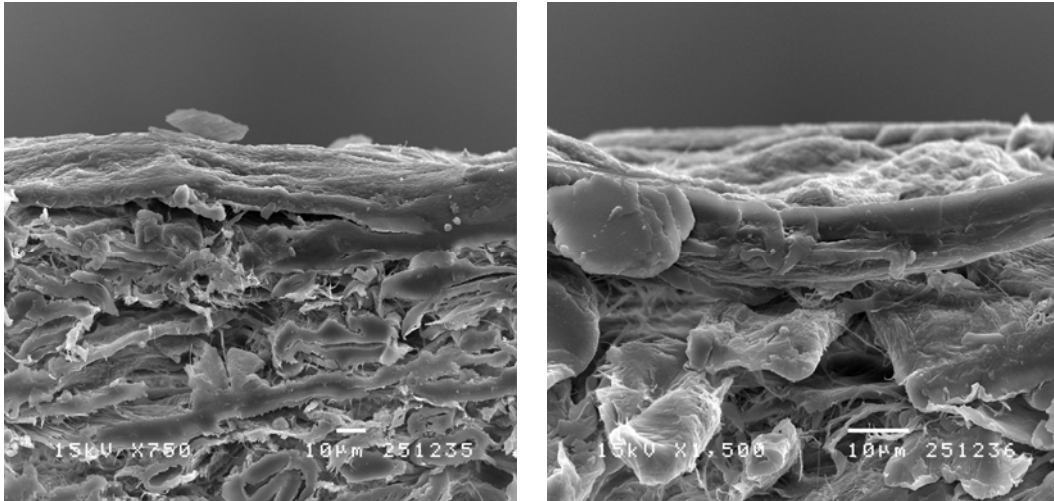
- [13] Herzau-Gerhardt, U., Technik des Flexo drucks, Coating Verlag Thomas & Co., Gallen, 1999, 1-21.
- [14] Kannurpatti, A. R., Taylor, B. K., Taming photopolymerisation, Flexo 26, 11, 2001, 12-16.
- [15] Wilson, L., Hot of the Press, Flexo 31, 9, 2006, 54-56.
- [16] อรัญ หาญสืบสาย .ระบบพิมพ์แบบต่างๆ และการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถานที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ตะวันออก, 2548.
- [17] Process printing [Online]. Available from: www.glossary.ippaper.com, Accessed on 27/8/08.
- [18] Kipphan, H., Handbook of Print Media, Springer: Heidelberg, Deutschland, 2001.
- [19] Argent, D., Patterson, C., Field, S., Gilbert, S., Sickinger, G., Flexography: Principles & Practices, 5th ed. FTA Publisher, 1999, 141-146.
- [20] Olsson, R Some aspects on flexographic ink-paper and paperboard coating interaction. Faculty of technology and science, Chemical engineering, Karlstad University, 2007.
- [21] Johnson, J Aspects of flexographic print quality and relationship to some parameters. Faculty of technology and science, Chemical engineering, Karlstad University, 2008.
- [22] Portable Gloss Measurement [Online]. Available from: <http://www.coleparmer.com>, Accessed on 5/03/2009.
- [23] Zang, Y.H., Aspler, J.S., Factors that affect the flexographic printability of linerboards: Focus on corrugated containers, Tappi Journal 240, 1995, 23-33.
- [24] Streefland. W., Densitometer and dot area, Flexo&Gravure , 1, 2007,8-9.
- [25] Thompson, B., Printing Materials: Science and Technology. Wiltshire, Pira, 1998.
- [26] Ma, G.H., Nagai, M. and Omi, S., Preparation of uniform poly(lactide) microspheres by employing the Shirasu Porous Glass (SPG) emulsification technique, Colloids and Surfaces, A:Physicochemical and Engineering Aspects 153, 1999, 383-394.
- [27] Rentzhog, M., Fogden, A., Print quality and resistance for water-based flexography on polymer-coated board: Dependence on ink formulation and substrate pretreatment, Progress in Organic Coating 57, 2006,183-194.

- [28] Olsson, R., Yang, L., Lestelius, M., Water retention of flexographic inks and its influence on final print gloss, *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 22, 2007, 287-29
- [29] Mai, R., Pekarovicova, A., Fleming III, P.D., Ink rheology and press performance of water-based flexographic ink, *Flexo* 32, 2007, 48-53.
- [30] Olsson, R., Yang, L., Stam, J.V., Lestelius, M., Effects on ink setting in flexographic printing: Coating polarity and dot gain, *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 21, 2006, 569-574.
- [31] Mešic, B., Järnström, L., Hjärthag, C., Lestelius, M., Effects of application temperature in paper surface sizing with temperature- responsive starch on water repellency and flexographic printability, *Appita Journal* 57(4), 2004, 281-285.
- [32] Noreewon, P., Preparation of polylactide/montmorillonite nanocoating for paper, Thesis, Pulp and paper technology, Faculty of science, Chulalongkorn University, 2008.
- [33] Introducing the new plate control [Online]. Available from: <http://www.xrite.com>, Accessed on 20/02/2009.

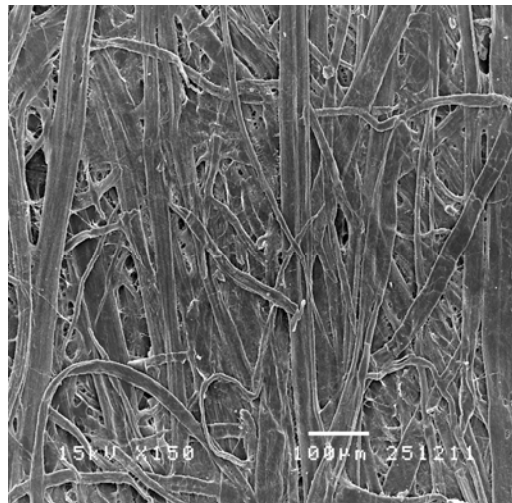
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

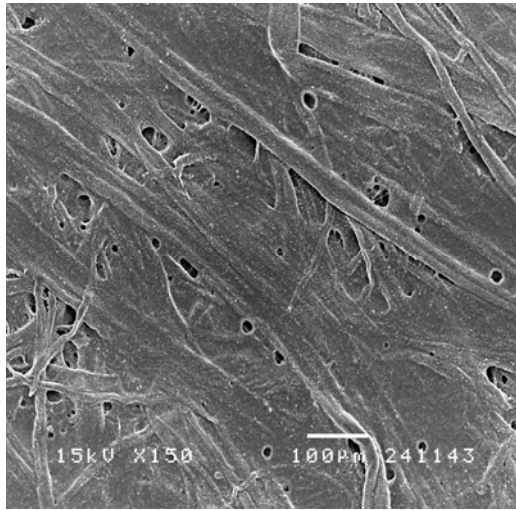
ภาพถ่าย SEM, TEM และ SPM



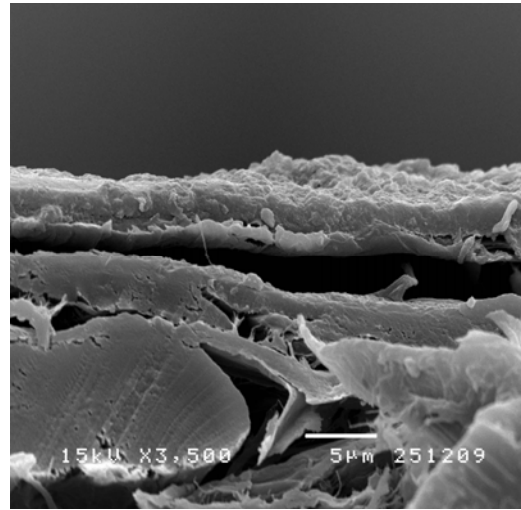
รูปที่ ก-1 ภาพถ่าย SEM ภาพตัดขวางของกระดาษเหนียวที่กำลังขยาย (ก) 750 เท่า และ (ข) 1500 เท่า



รูปที่ ก-2 ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของกระดาษเหนียวที่กำลังขยาย 150 เท่า

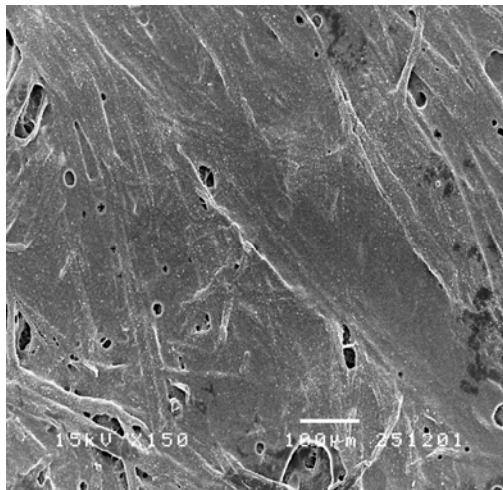


(ก)

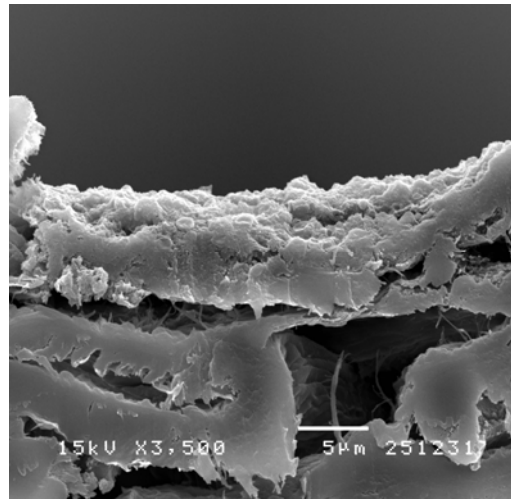


(ข)

รูปที่ ก-3 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 10 ความหนาขณะเปียก 12 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

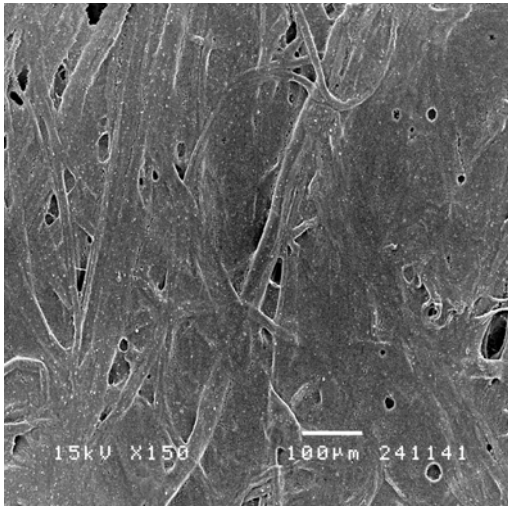


(ก)

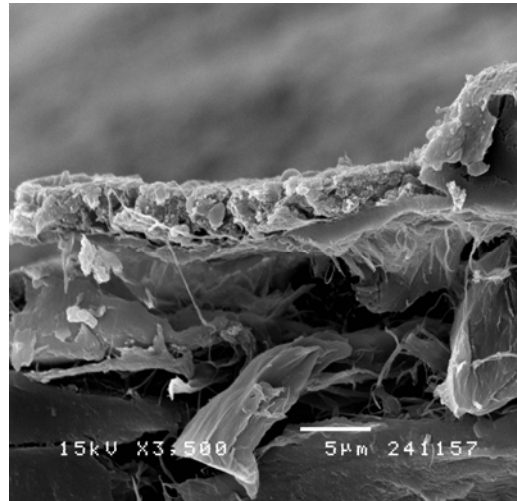


(ข)

รูปที่ ก-4 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 10 ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

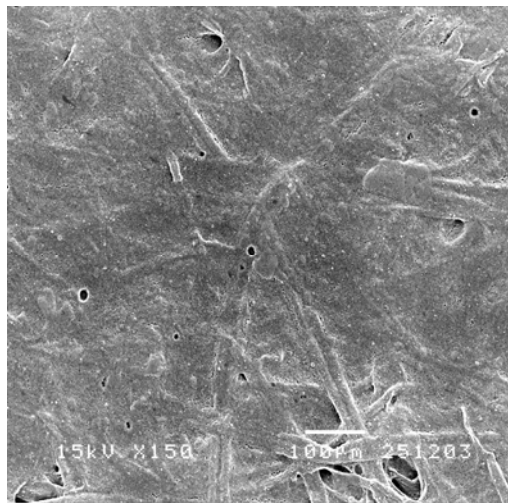


(ก)

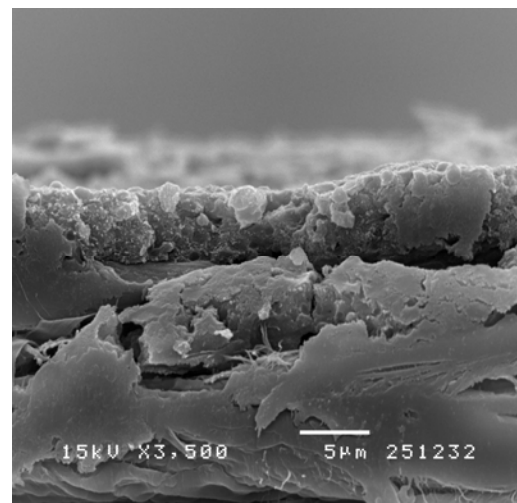


(ข)

รูปที่ ก-5 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 20 ความหนาขณะเป็ยก 12 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

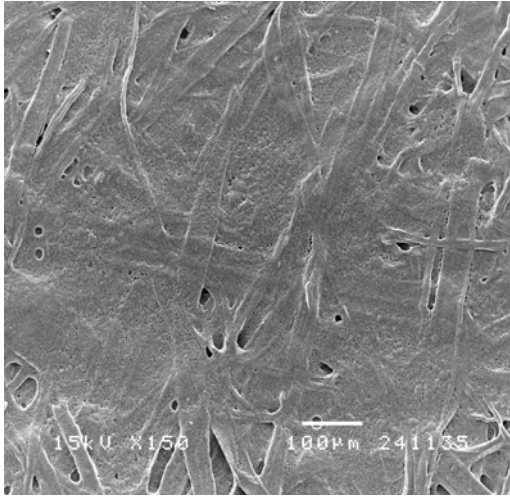


(ก)

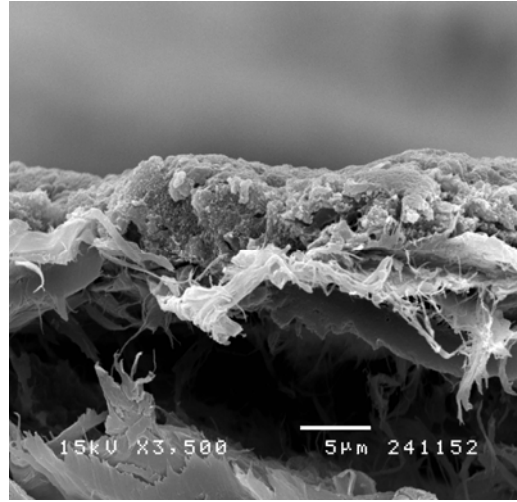


(ข)

รูปที่ ก-6 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 20 ความหนาขณะเป็ยก 12 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

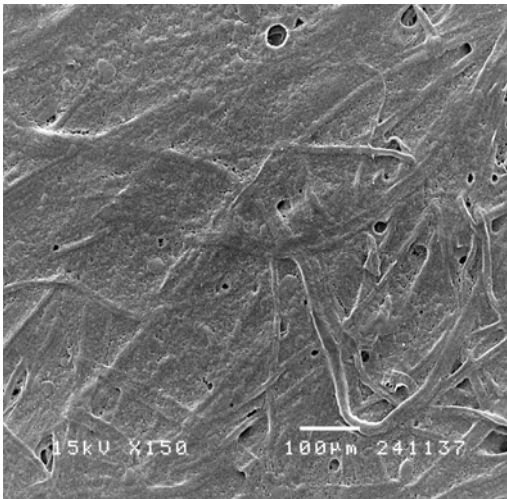


(ก)

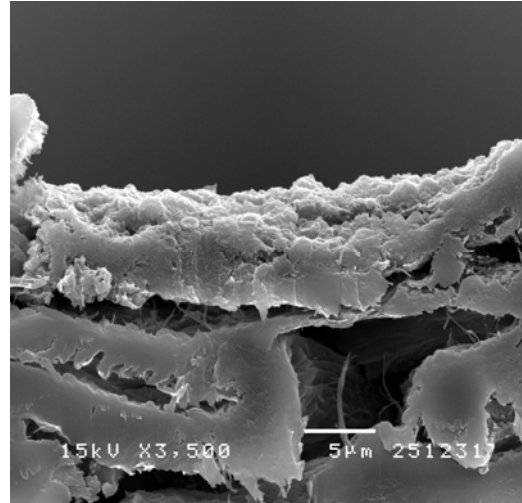


(ข)

รูปที่ ก-7 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 30 ความหนาขณะเปียก 4 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

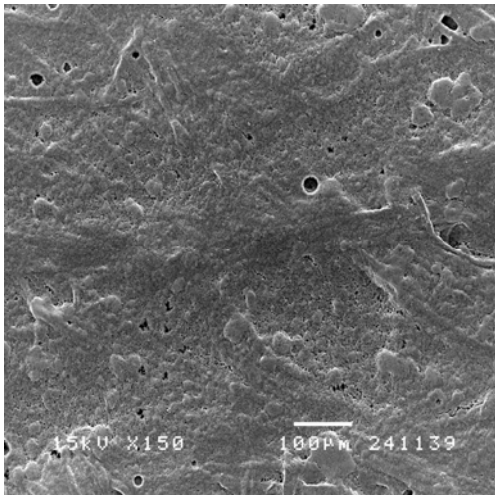


(ก)

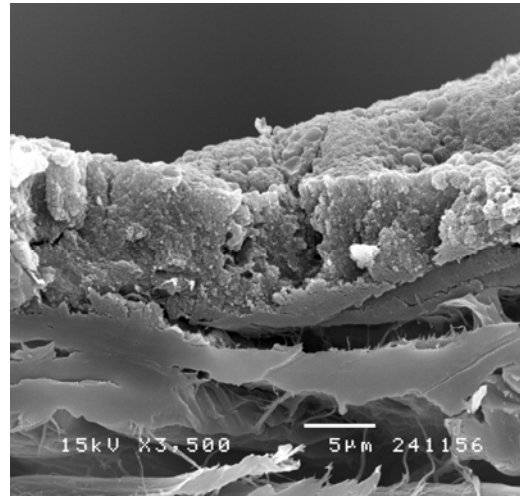


(ข)

รูปที่ ก-8 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 30 ความหนาขณะเปียก 12ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

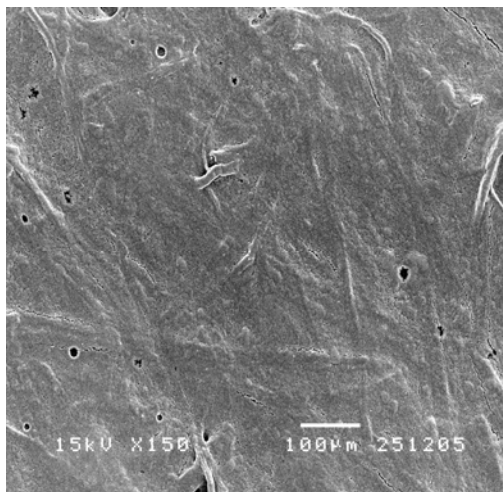


(ก)

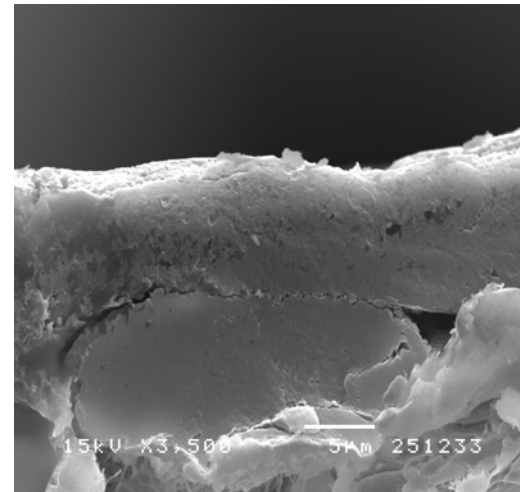


(ข)

รูปที่ ก-9 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาตรสารสีร้อยละ 30 ความหนาขณะเปียก 24ไมโครเมตรที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

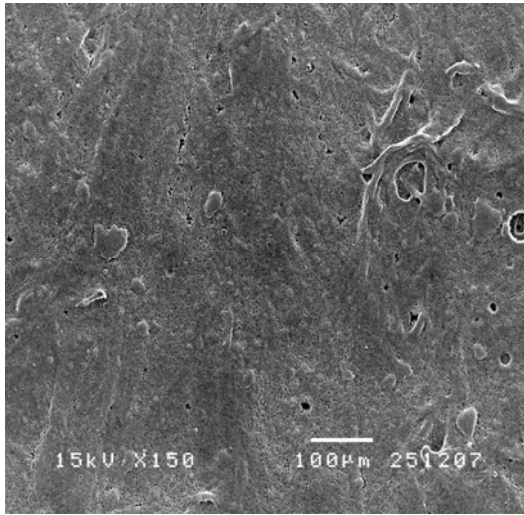


(ก)

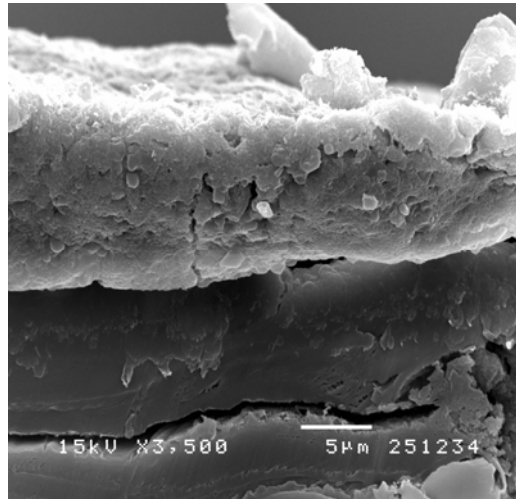


(ข)

รูปที่ ก-10 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ปริมาตรสารสีร้อยละ 30 ความหนาขณะเปียก 24ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า

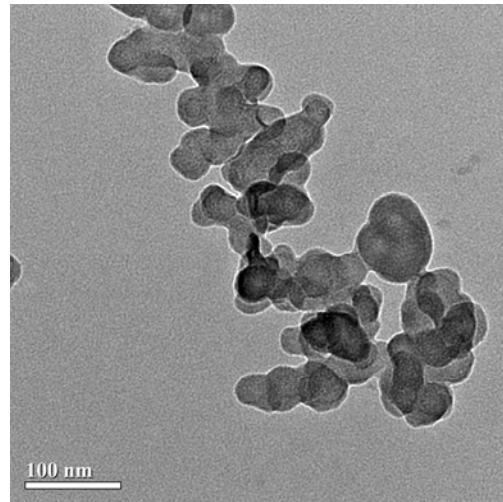
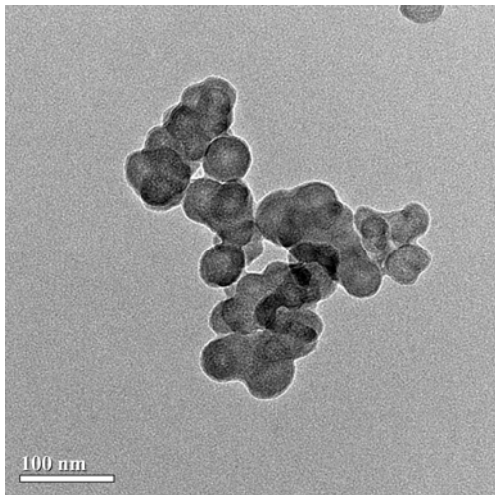


(ก)

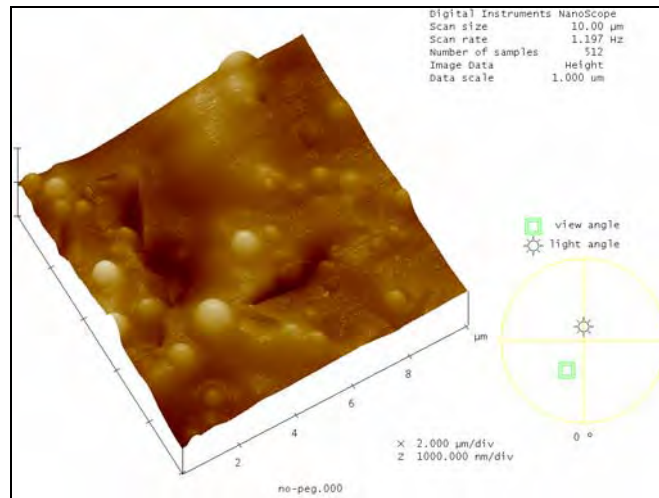


(ข)

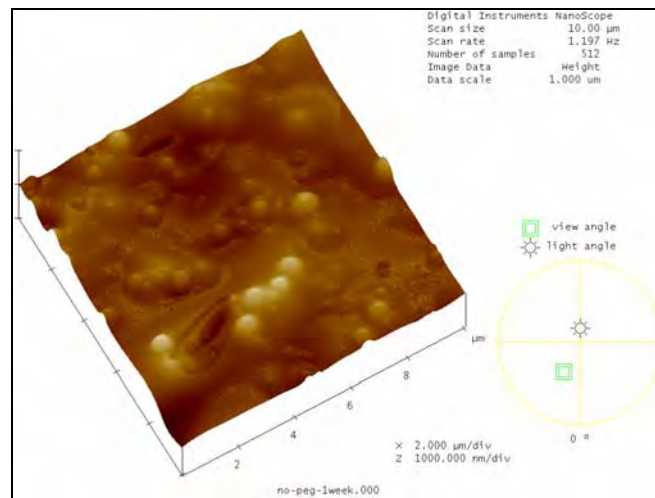
รูปที่ ก-11 ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ปริมาณสารสีร้อยละ 30 ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวหน้ากำลังขยาย (ก)150 และภาพตัดขวางงานพิมพ์ที่กำลังขยาย (ข)3500 เท่า



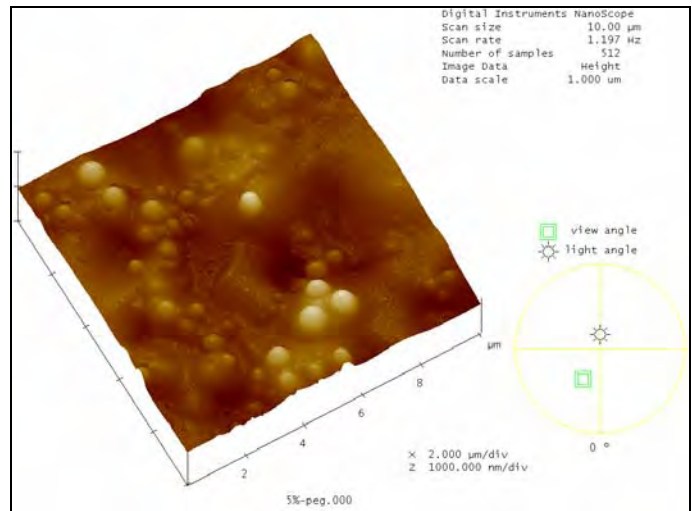
รูปที่ ก-12 ภาพถ่าย TEM ของสารสีดำ



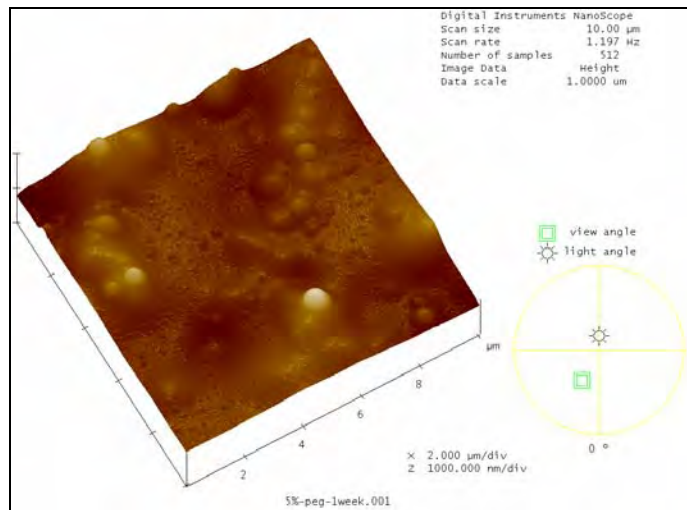
รูปที่ ก-13 ภาพถ่ายผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ใช้เวลาแห้งตัว 1 วัน



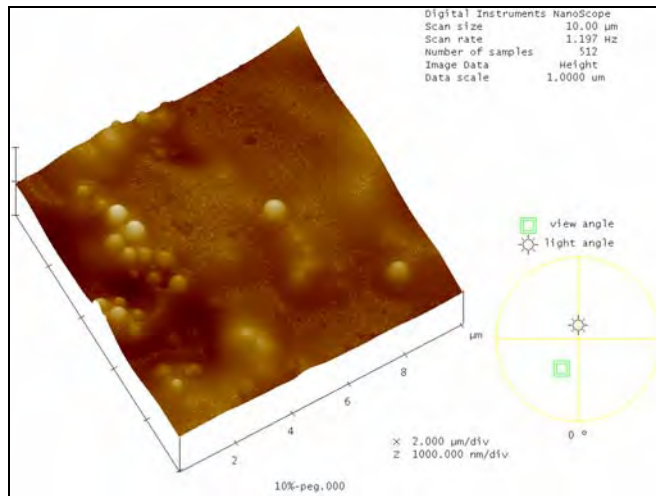
รูปที่ ก-14 ภาพถ่ายผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ใช้เวลาแห้งตัว 7 วัน



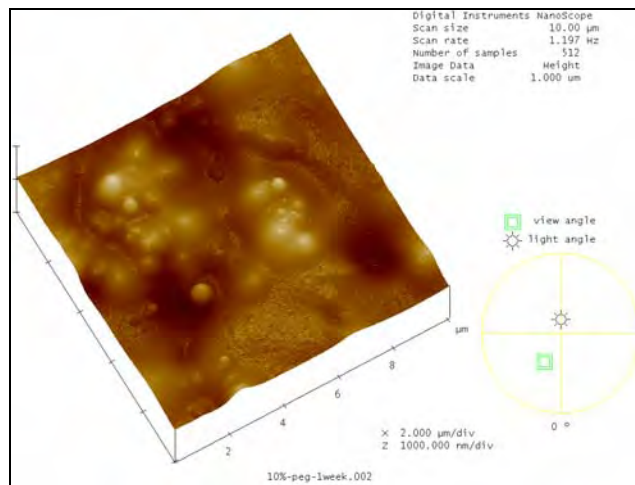
รูปที่ ก-15 ภาพถ่ายผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทีลีน ไกลคอลร้อยละ 5 ที่ใช้เวลาแห้งตัว 1 วัน



รูปที่ ก-16 ภาพถ่ายผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทีลีน ไกลคอลร้อยละ 5 ที่ใช้เวลาแห้งตัว 7 วัน



รูปที่ ก-17 ภาพถ่ายผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทีลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ใช้เวลาแห้งตัว 1 วัน

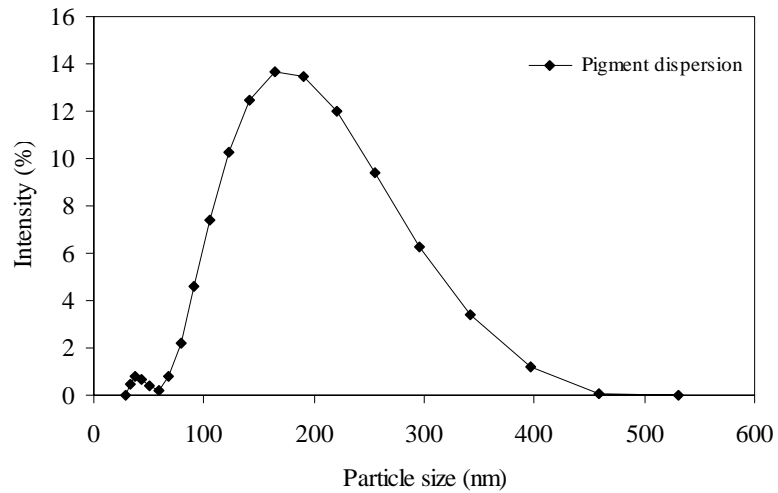


รูปที่ ก-18 ข้อมูลดิบและภาพถ่ายผิวหน้าแผ่นฟิล์มของสารยึดพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทีลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ใช้เวลาแห้งตัว 7 วัน

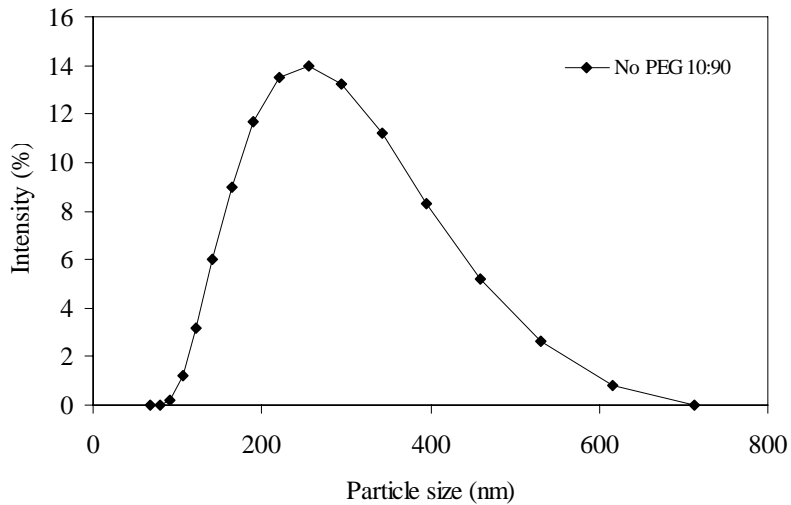
ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

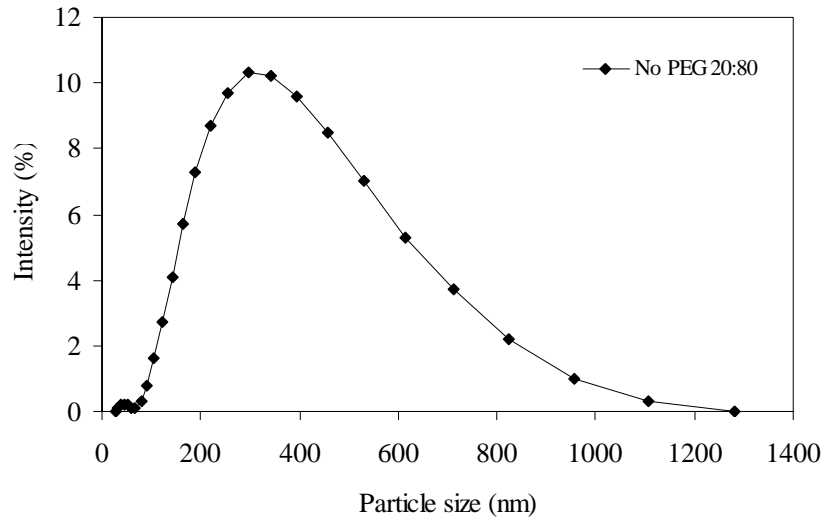
ผลการทดลองการกระจายของขนาดอนุภาค



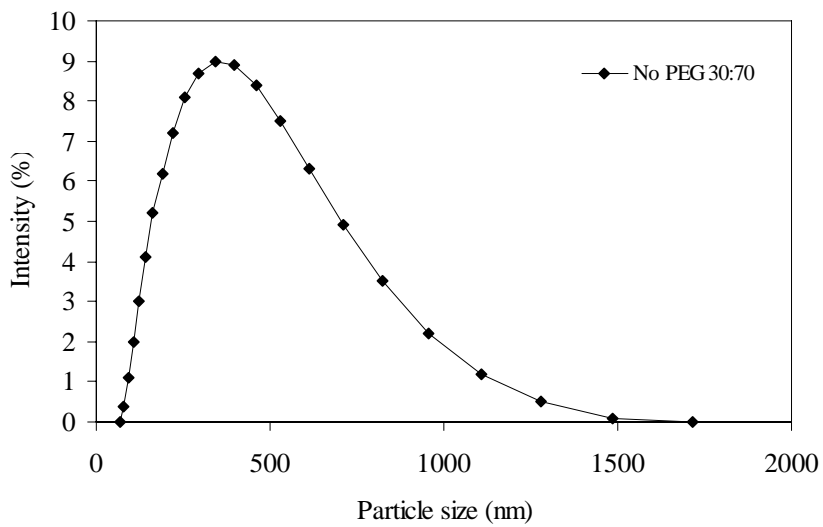
รูปที่ ข-1 การกระจายขนาดอนุภาคของสารสีสีดำ



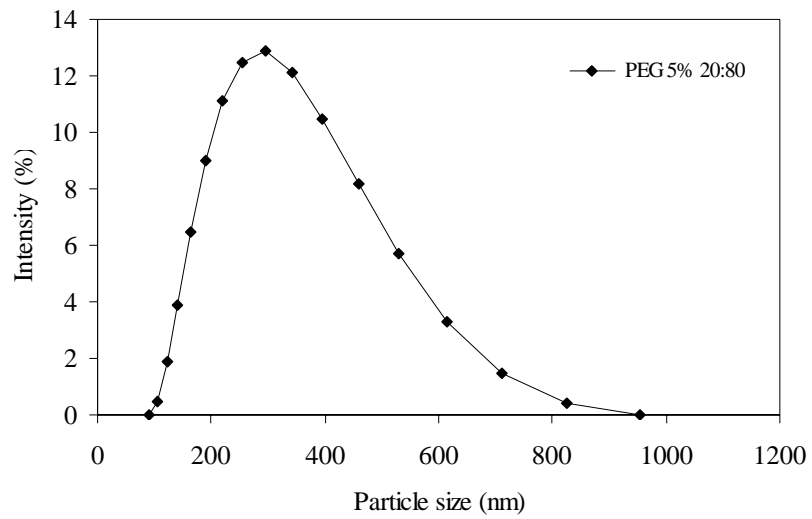
รูปที่ ข-2 การกระจายขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ปริมาณสารสีร้อยละ 10



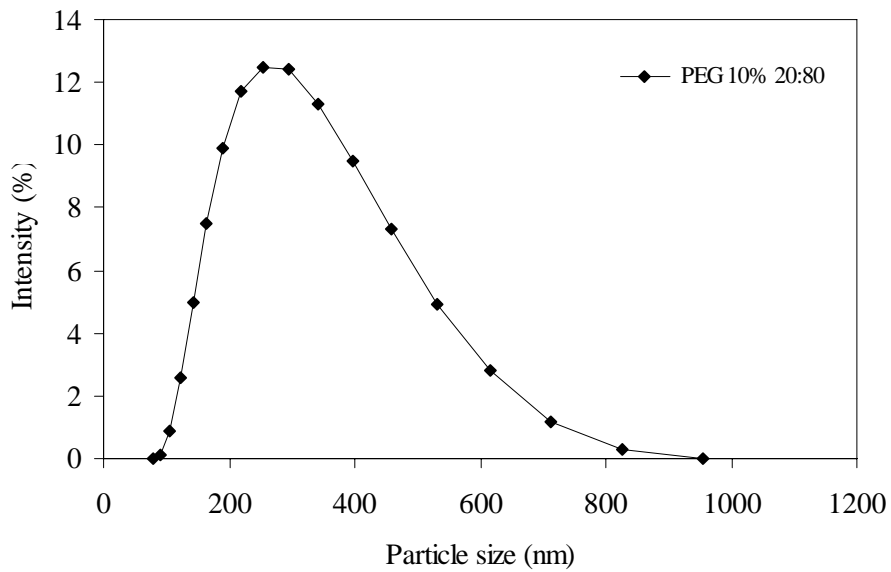
รูปที่ ข-3 การกระจายขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ปริมาณสารสีร้อยละ 20



รูปที่ ข-4 การกระจายขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ปริมาณสารสีร้อยละ 30

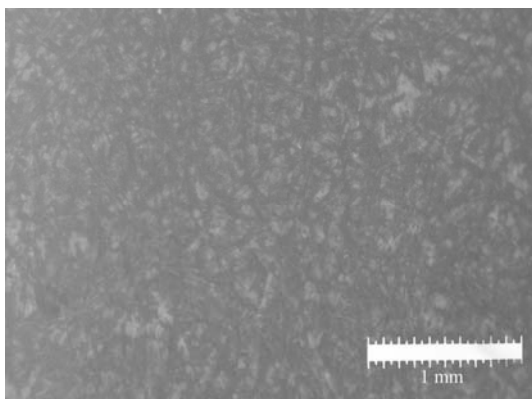


รูปที่ ข-5 การกระจายขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลร้อยละ 5 ปริมาณสารสีร้อยละ 20

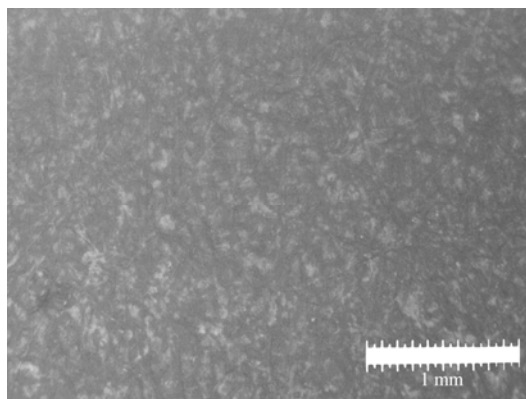


รูปที่ ข-6 การกระจายขนาดอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิแล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลร้อยละ 10 ปริมาณสารสีร้อยละ 20

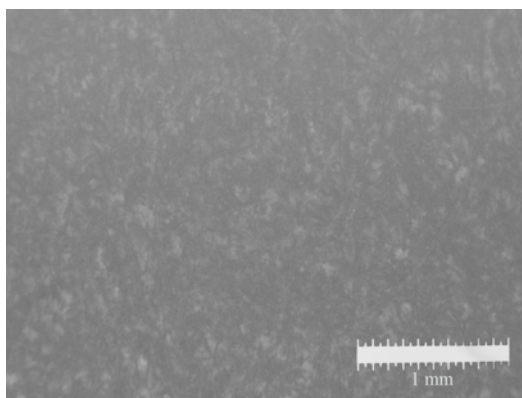
ความกระดํากระด้าง (mottle) ของงานพิมพ์



(ก)

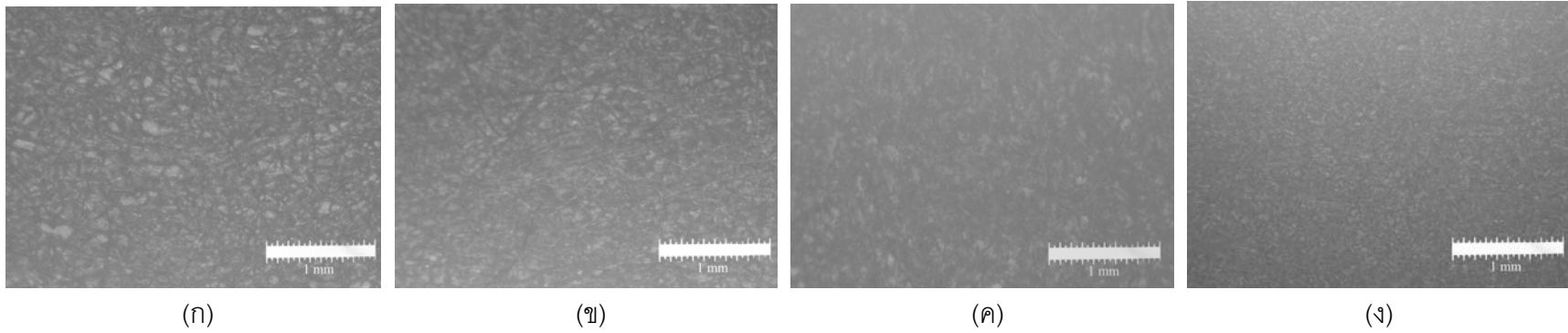


(ข)

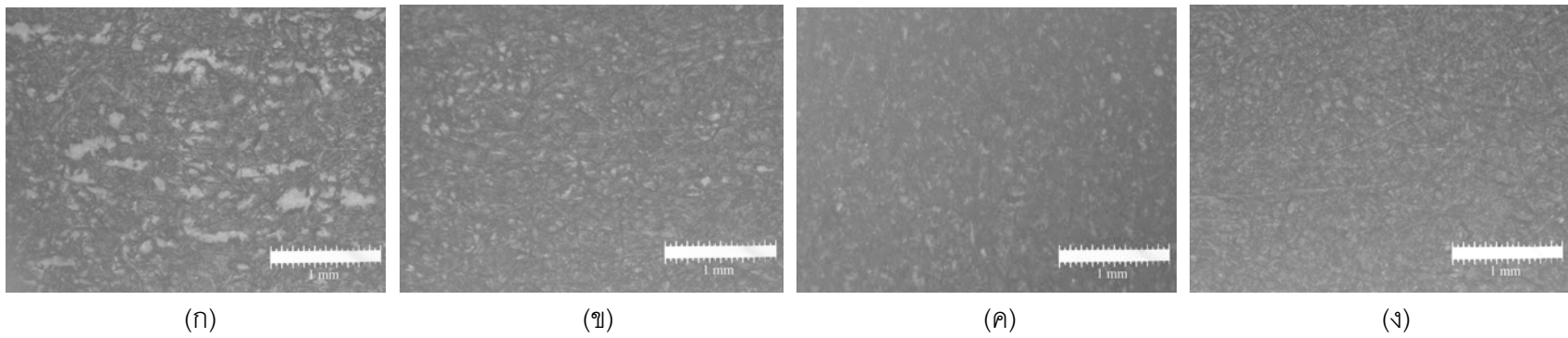


(ค)

รูปที่ ข-7 ภาพถ่ายความกระดํากระด้างผิวหน้าของงานพิมพ์ ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สาร์ยัดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชัน (ก) ชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (ข) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 และ (ค) ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนของสาร์ยัดร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

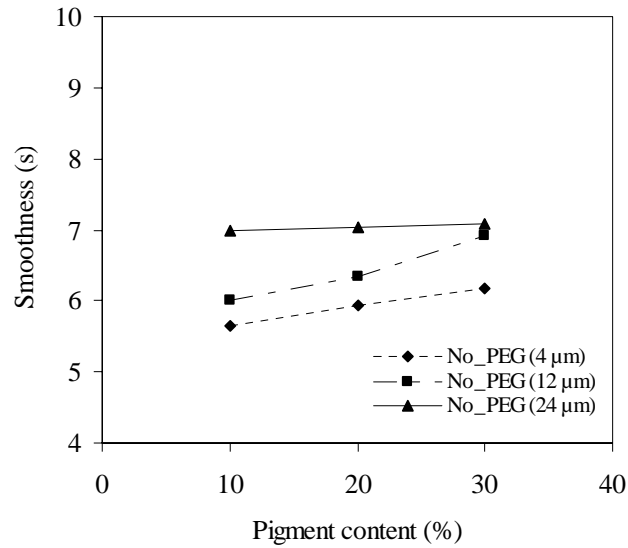


รูปที่ ข-8 ภาพถ่ายผิวหน้างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดพอลิเล็กไทด์ชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ปริมาณสารสีร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก)150 N (ข)250 N (ค)350 N และ (ง)450 N

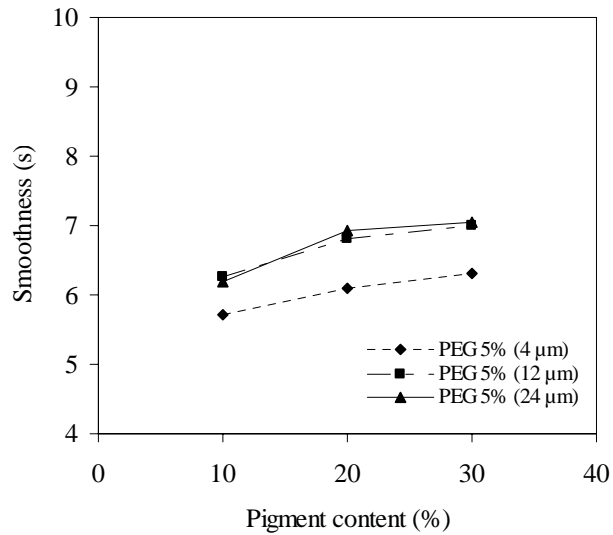


รูปที่ ข-9 ภาพถ่ายผิวหน้างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียวด้วยแรงกดพิมพ์ (ก)150 N (ข)250 N (ค)350 N และ (ง)450 N

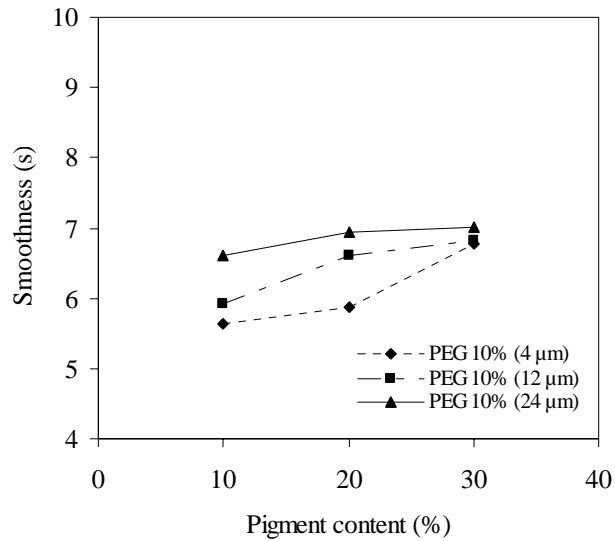
ผลการทดลองความเรียบของงานพิมพ์ที่ตรวจสอบด้วยวิธีของ Bekk



รูปที่ ข-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีที่ใช้กับค่าความเรียบของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตร ขณะเปียก

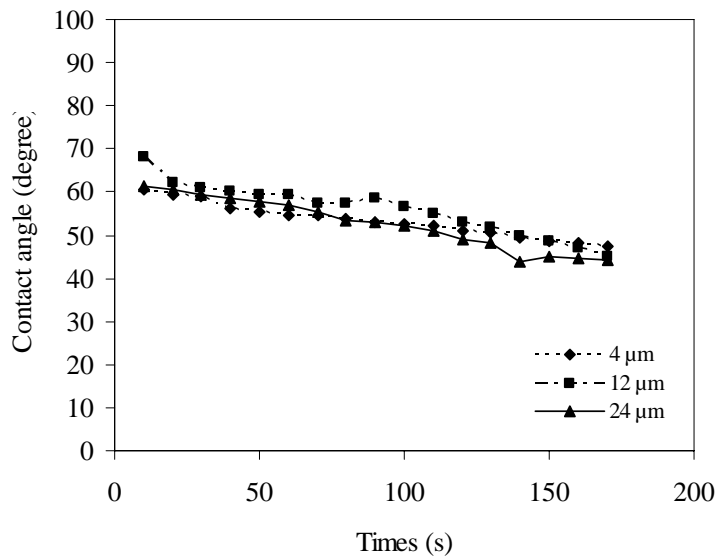


รูปที่ ข-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีที่ใช้กับค่าความเรียบของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเปียก

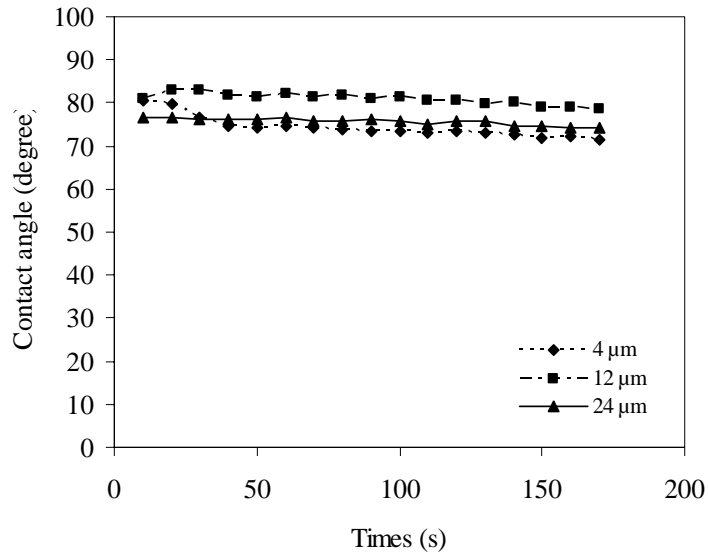


รูปที่ ข-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสีที่ใช้กับค่าความเรียบของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเปียก

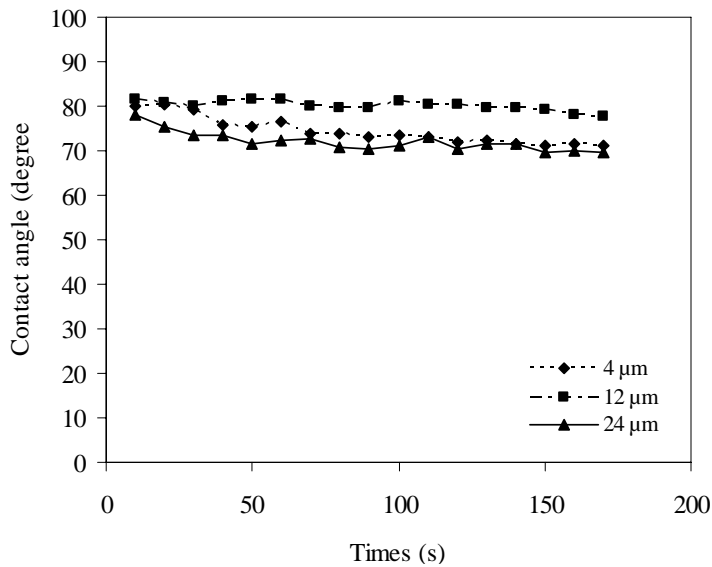
ผลการทดลองการต้านทานน้ำบนงานพิมพ์



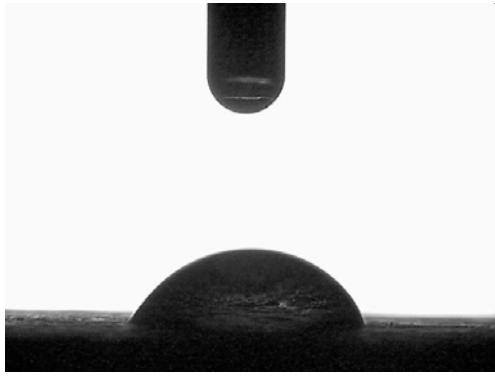
รูปที่ ข-13 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเปียก



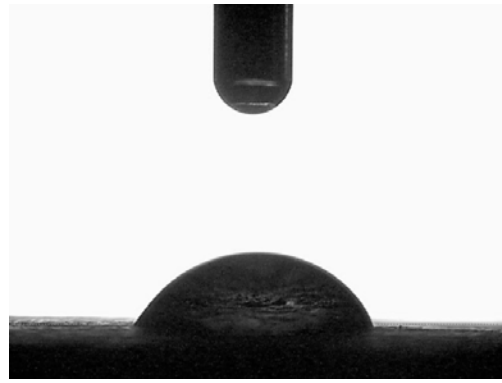
รูปที่ ข-14 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 20 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเปียก



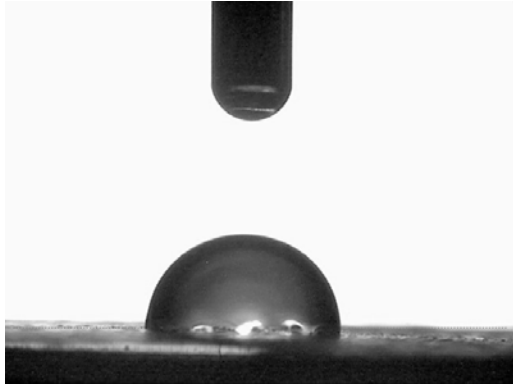
รูปที่ ข-15 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิเล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเปียก



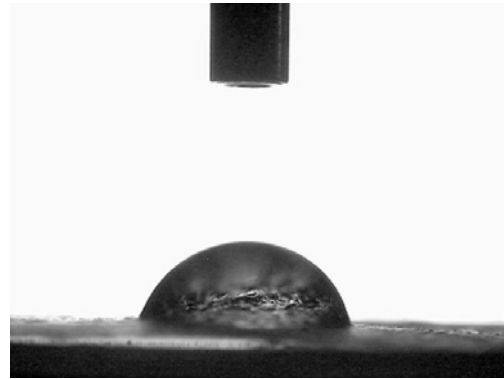
(1)(ก)



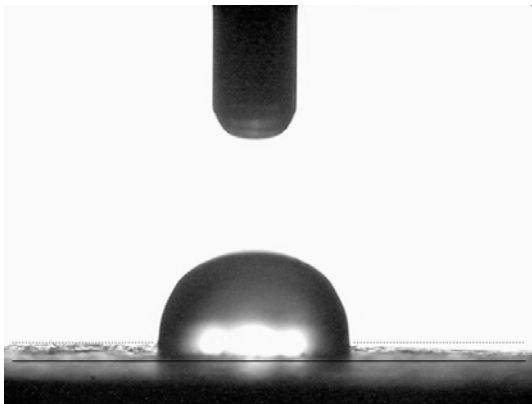
(2)(ก)



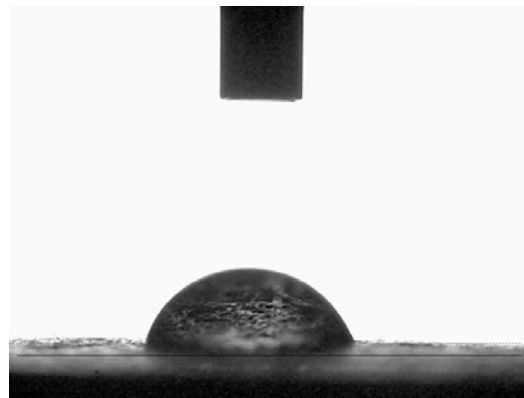
(1)(ข)



(2)(ข)

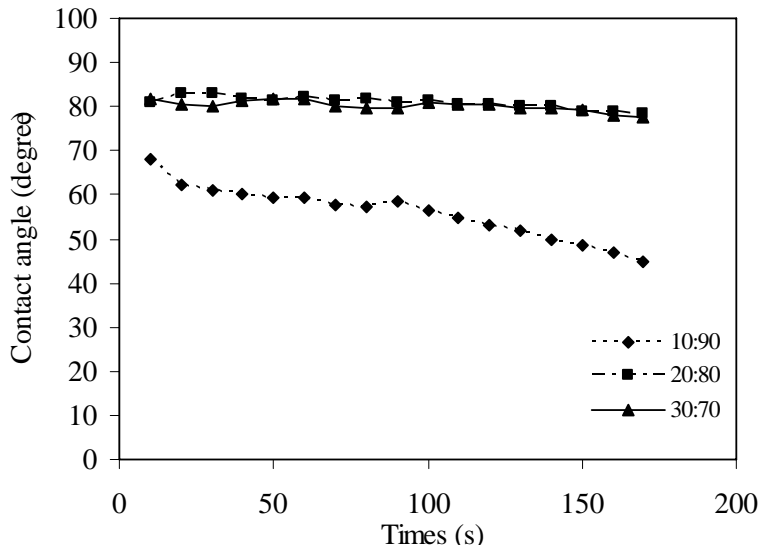


(1)(ค)

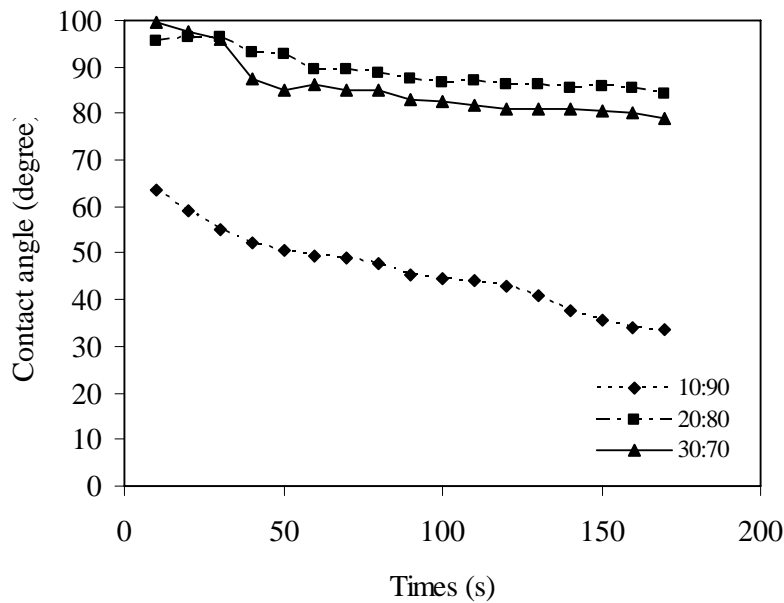


(2)(ค)

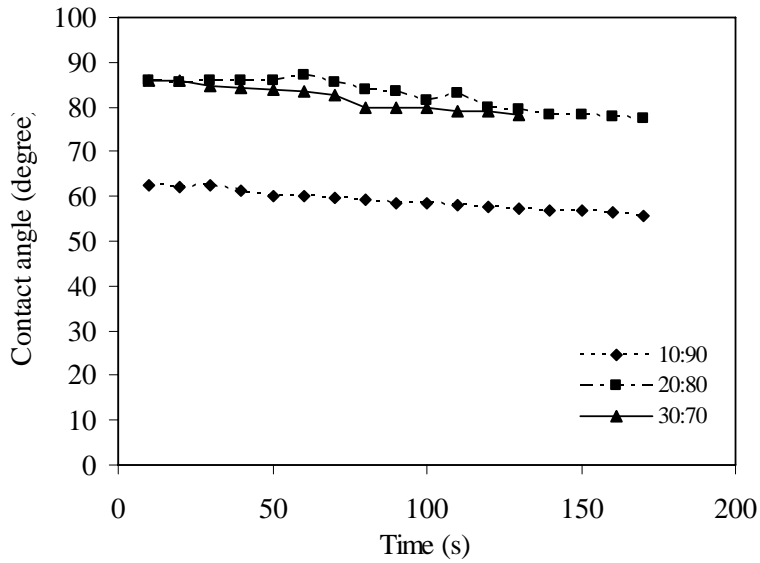
รูปที่ ข-16 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนงานพิมพ์ ที่วินาทีเริ่มต้น(1) และวินาทีที่ 180 (2) เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10(ก) 20(ข) และ 30(ค) ที่ความหนา 12 ไมโครเมตรขณะเปียก



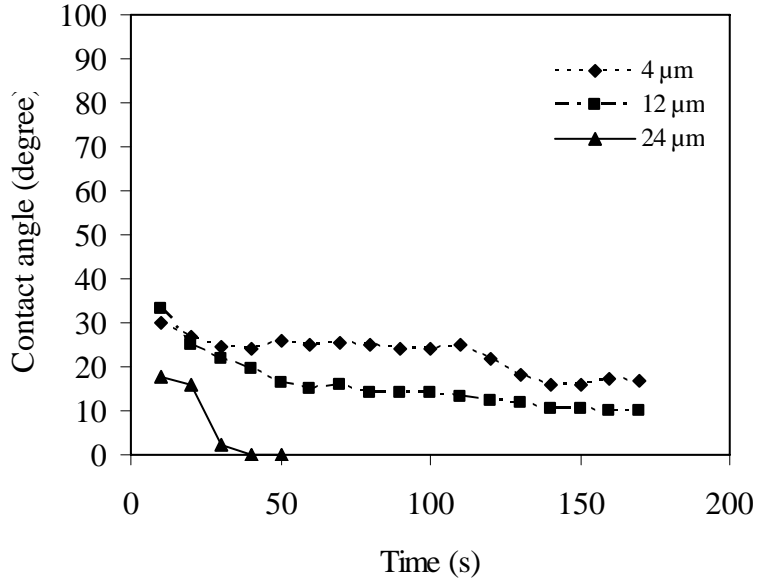
รูปที่ ข-17 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 12 ไมโครเมตรขณะเป็ยก



รูปที่ ข-18 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 5 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 12 ไมโครเมตรขณะเป็ยก



รูปที่ ข-19 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 ที่ความหนา 12 ไมโครเมตรขณะเป็ยก



รูปที่ ข-20 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับเวลาของงานพิมพ์ ที่เวลา 10-180 วินาที เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเป็ยก

ความต้านทานการขัดถู

ตารางที่ ข-1 แสดงค่าความต้านทานการขัดถูขณะแห้งของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ที่ความหนา 12 ไมโครเมตรขณะเปียก

Pigment content (%)	Rub resistance		
	No PEG	PEG 5%	PEG 10%
10	4	4	4
20	3	3-4	4
30	2-3	2-3	3-4

ตารางที่ ข-2 แสดงค่าความต้านทานการขัดถูขณะแห้งของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยึดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันชนิดเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 อัตราส่วนของสารสีร้อยละ 30 ที่ความหนา 4 12 และ 24 ไมโครเมตรขณะเปียก

Wet film thickness (μm)	Rub resistance
4	4
12	3-4
24	3-4

ตารางที่ ข-3 ค่าความต้านทานการขัดถูขณะแห้งของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซซีวีภาพที่เตรียมได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซทางการค้าสำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียว

Wet film thickness (μm)	PEG 10% 30:70	Commercial ink
4	4	4
12	3-4	4
24	3-4	3-4

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

นาย ธีศิษฐ์ วรภาสกุล เกิดเมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2527 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมตอนปลาย จากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ปี พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางภาพและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2550 และ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2552

ผลงานทางวิชาการ

Varapaskul, T., and Phattanarudee, S., (2009). Preparation of Bio Flexo-Ink using Polylactide Binder for Kraft Paper Printing. 12th National Graduate Research Conference. Khon Kaen University. February 12 – 13 2009. Thailand. 702-707.