

อิทธิพลของภาวะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
ต่อคุณภาพของวัสดุพิมพ์พอลิโพรพิลีน



นายไพรัชต์ สิทธิรัตนยืนยง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1101-6

INFLUENCE OF PRINTING CONDITION OF FLEXOGRAPHY MACHINE
ON QUALITIES OF POLYPROPYLENE PRINTING MATERIAL



Mr. Phairat Sittirattanayeunyong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1101-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของภาวะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีต่อคุณภาพของวัสดุพิมพ์พอลิโพรพิลีน
โดย	นายไพรัชต์ สิทธิรัตนยืนยง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร.วรัญญู เต็มไพสิฐพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายมารชัย กองบุญมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วรัญญู เต็มไพสิฐพงษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายมารชัย กองบุญมา)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์)

ไพรัชต์ สิทธิรัตนยืนยง : อิทธิพลของภาวะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีต่อคุณภาพของวัสดุพิมพ์พอลิโพรพิลีน. (INFLUENCE OF PRINTING CONDITION OF FLEXOGRAPHY MACHINE ON QUALITIES OF POLYPROPYLENE PRINTING MACHINE) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์,อาจารย์ ที่ปรึกษา
ร่วม : นายมารชัย กองบุญมา, 94 หน้า. ISBN 974-03-1101-6.

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองถึงผลของความหนืดของหมึกพิมพ์ฐานน้ำ ความร้อนในการ
ทำแห้งหมึก และความเร็วในการเดินเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่มีต่อคุณภาพของวัสดุพิมพ์พอลิ
โพรพิลีน โดยวัดคุณภาพจากคุณสมบัติการยึดติดของหมึก และเจดสีที่พิมพ์เทียบกับเจดสี
มาตรฐานที่ต้องการ พิมพ์บนแผ่นพอลิโพรพิลีนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีโครนา ให้มีค่า
พลังงานผิว 38 มิลลิวัตต์ต่อเมตร

ผลการทดลองพบว่าความหนืดของหมึกพิมพ์มีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์มาก ถ้าหมึกมี
ความหนืดมากจะได้ชั้นฟิล์มหมึกที่หนา ทำให้การเกาะติดของหมึกพิมพ์ไม่ดี แต่ถ้าหมึกมี
ความหนืดน้อยจะทำให้การเกาะติดดีขึ้น ความหนืดที่เหมาะสมจากการทดลองอยู่ที่ 35 วินาที
(วัดด้วยถ้วยดินคัพ เบอร์ 4) ส่วนการทำแห้งมีผลต่อคุณภาพงานที่ต้องการวัดน้อย แต่ถ้าการทำ
แห้งไม่ดีจะทำให้หมึกพิมพ์ไปเลอะด้านหลังแผ่นพิมพ์แผ่นบน จากการทดลองด้วยความเร็วที่ใช้
ระดับความร้อนที่ร้อยละ 100 จึงจะเพียงพอต่อการพิมพ์ นอกจากนั้น ความเร็วของการ
เดินเครื่อง ยังมีผลต่อการเกาะติดของหมึก โดยถ้าเดินเครื่องด้วยความเร็วที่ต่ำ จะทำให้ชั้นฟิล์ม
หมึกบางลง การเกาะติดจึงดี แต่เจดสีที่วัดจะต่างจากเจดสีมาตรฐานมาก ความเร็วที่เหมาะสมอยู่ที่
7000 แผ่นต่อชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4171473021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD : FLEXOGRAPHY PRINTING/ POLYPROPYLENE/RUB RESISTANCE/Lab

PHAIRAT SITTIRATTANAYEUNYONG : INFLUENCE OF PRINTING CONDITION OF FLEXOGRAPHY MACHINE ON QUALITIES OF POLYPROPYLENE PRINTING MATERIAL. THESIS ADVISOR : MR.VARUN TAEPASITPHONGSE, Ph.D.,CO. ADVISOR : MR.MARACHAI KONGBOONMA, 94 pp. ISBN 974-03-1101-6

This experimental work studied the effect of viscosity of water-based ink, drying power and machine speed of flexography machine on the rub resistance and color shade of printed polypropylene sheet. The polypropylene sheet was surface treated by corona method to have the surface energy at 38 dyne/centimeter.

The results showed that ink viscosity had strong effect on the qualities of the printed sheet. Higher the viscosity, higher the thickness of the film obtained. However, the rub resistance was lower. The suitable ink viscosity was found to be at 35 second (measured by DIN cup no.4). The drying power had little effect on the quality of printed sheet. But if the drying power was inadequate, the set off problem would occur. The suitable drying power used in the test machine was found to be 100 percent. Additionally, the machine speed also affected the rub resistance of printed sheet. At low speed, the film thickness was thin and had good rub resistance. However, the color shade of printed sheet differed more than at high machine speed. The suitable speed was found to be at 7,000 sheets per hour.

Department Chemical Engineering

Field of study Chemical Engineering

Academic year 2001

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาค่าง ๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ อ.ดร.วิทย์ สุนทรนันท์ กรรมการ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณมารชัย กองบุญมา กรรมการผู้จัดการ บริษัท จันฉนวนชัย ซีเคียวริตี้ พรินท์ติ้ง จำกัด ในฐานะที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาสนับสนุนและเปิดโอกาสให้ผู้เขียนได้ศึกษาวิชาความรู้ที่เกี่ยวกับงานวิจัย และการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณกลุ่มบริษัทไชยบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดสอบและคุณพงศ์ธร ไทยสีหราช ที่ได้เอื้อเฟื้อหมึกพิมพ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ปริญญาโท ภาคนอกเวลาราชการทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่ส่งเสริม สนับสนุน และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์และเพื่อนอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	2
2. หลักการพื้นฐาน	
2.1 การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	3
2.1.1 แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	3
2.1.2 เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	4
2.1.3 หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	8
2.2 พลาสติกสำหรับงานพิมพ์.....	24
2.2.1 การปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกทางฟิสิกส์.....	24
2.2.2 การปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกทางเคมี.....	31
2.3 การยึดติดของพื้นผิว.....	33
3. อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	36
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	43

4.ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลการทดลอง.....	45
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
5.สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก	
ก.ตารางผลการทดลอง.....	58
ข.สี การรับรู้และการวัดสี.....	65
ค.เคมีพื้นผิวและกระแสน้ำสำหรับการพิมพ์.....	70
ง.อุปกรณ์วัดพลังงานผิว.....	84
จ.ตัวอย่างชิ้นงาน.....	86
ฉ.เครื่องมือวัดความหนา.....	87
ช.การวัดการขัดถู.....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างค่าแรงตีงผิวและพลังงานผิวของวัสดุทางการพิมพ์ประเภทต่าง ๆ.....	35
4.1	คุณภาพงานพิมพ์ เมื่อพิจารณาถึงการยึดติดของหมึกและความแตกต่างสี.....	45
ก.1	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 35 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	58
ก.2	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 35 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	58
ก.3	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 35 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	59
ก.4	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 40 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	59
ก.5	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 40 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	59
ก.6	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 40 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	60
ก.7	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 50 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	60
ก.8	จำนวนครั้งในการจัดดู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนึ่ระดับ 50 วินาที (ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อน ร้อยละ 100).....	60

ข.1	ตัวอย่างคำศัพท์กัณฑ์เล็บของสีต่าง ๆ (แสง D50).....	67
-----	--	----



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบหลักของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	6
2.2	กราฟแสดงความหนืดซึ่งแสดงคุณลักษณะการไหลของของเหลว แบบต่าง ๆ	12
2.3	การไหลแบบนิวทอเนียน ความหนืดมีค่าคงที่.....	13
2.4	การไหลแบบไม่ใช่นิวทอเนียน ความหนืดมีค่าไม่คงที่.....	13
2.5	เส้นกราฟการไหลแบบพลาสติกเทียม.....	14
2.6	เส้นกราฟการไหลแบบพลาสติก-แคสชันที่แสดงอิทธิพลของรูปที่เกิด จากสมบัติทิกโซโทรปี.....	15
2.7	การไหลแบบพลาสติก-บิงแฮม.....	15
2.8	การไหลแบบไดลาแทนต์และรีโอเพกซี.....	16
2.9	แบบจำลองการไหลและความหนืดของของเหลวเมื่อได้รับ ความเค้นเฉือน.....	18
2.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของของเหลว ความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน.....	19
2.11	ลักษณะของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาครวมแบบต่าง ๆ	22
2.12	แผนภาพแสดงขั้นตอนการลดลงของความหนืดเมื่อรูปร่างของ อนุภาคในของเหลวเล็กลง	23
2.13	การแตกตัวของอนุภาคจนมีขนาดเล็กกว่าปริมาตรรวมของกลุ่มอนุภาค เท่าเดิม แต่พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ความหนืดลดลง ของเหลวจะไหลได้ดีขึ้น.....	23
2.14	อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบทั่วไป	26
2.15	อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบที่พื้นทรงกระบอกไม่มีอะไรปกคลุม.....	27
2.16	อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบผสม.....	28
3.1	อุปกรณ์สำหรับกำจัดไฟฟ้าสถิตย์.....	36
3.2	โครงสร้างของหน่วยพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี.....	37
3.3	ลักษณะของ Chamber doctor blade.....	37
3.4	ลักษณะบ่อหมึกของลูกกลิ้งอะนิล๊อกซ์	38
3.5	การติดตั้งลูกกลิ้งอะนิล๊อกซ์ในหน่วยพิมพ์.....	38

รูปที่	หน้า	
3.6	ลักษณะของผ้ายางที่ใช้เป็นแม่พิมพ์.....	39
3.7	หน้าจอบำบัดสำหรับป้อนค่าการให้ความร้อน	39
3.8	ลักษณะของถ้วยดิน (DIN CUP) เบอร์ 4	40
3.9	เครื่องวัดความหนา.....	41
3.10	เครื่องวัดการหด.....	41
3.11	เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	42
3.12	ลักษณะแผ่นพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.13	หมึกพิมพ์ที่ใช้ในการทดลองและถังบรรจุ	43
4.1	ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและการหด (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 35 วินาที และให้ความร้อนในการ ทำแห้งร้อยละ 100).....	46
4.2	ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความแตกต่างสี (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 35 วินาที และให้ความร้อนในการ ทำแห้งร้อยละ 100).....	47
4.3	ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและการหด (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 40 วินาที และให้ความร้อนในการ ทำแห้งร้อยละ 100).....	47
4.4	ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความแตกต่างสี (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 40 วินาที และให้ความร้อนในการ ทำแห้งร้อยละ 100).....	48
4.5	ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและการหด (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 50 วินาที และให้ความร้อนในการ ทำแห้งร้อยละ 100).....	49
4.6	ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความแตกต่างสี (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 35 วินาที และให้ความร้อนในการ ทำแห้งร้อยละ 100).....	50
4.7	จำนวนในการหด(ครั้ง) ของหมึกที่มีความหนืดต่างกัน เมื่อพิมพ์ด้วยภาวะทางการพิมพ์ต่างๆ.....	51
4.8	ความแตกต่างสีของหมึกที่มีความหนืดต่างกัน เมื่อพิมพ์ด้วยสภาวะ ทางการพิมพ์ต่าง ๆ	51

รูปที่	หน้า
ข.1	แผนภูมิซีแล็บ..... 65
ข.2	การหามุมสี่เหลี่ยมและความอ้อมตัวสี่สัมพันธ์ของสี่ใด ๆ ในระนาบ $L^* a^* b^*$ ของแผนภูมิซีแล็บ 68
ค.1	พลังงานอิสระที่พื้นผิว 71
ค.2	แผนภาพแสดงความหมายแรงดึงผิวของของเหลวใด ๆ 73
ค.3	การหาค่าแรงดึงผิวโดยใช้วงแหวนโลหะ..... 74
ค.4	การหาค่าแรงดึงผิวโดยใช้แผ่นโลหะ..... 75
ค.5	เทนซิโอมิเตอร์ชนิดที่เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปสำหรับวัดแรงดึงผิว..... 75
ค.6	แผนภาพแสดงมุมสัมผัส จุดสัมผัส และเส้นสัมผัส..... 76
ค.7	กล้องจุลทรรศน์โกนิโอมิเตอร์..... 76
ค.8	การใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อวัดมุมสัมผัส..... 77
ค.9	วิธีการหาค่ามุมสัมผัสจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉากและมุม $\theta/2$ 77
ค.10	เกณฑ์การใช้มุมสัมผัสเป็นดัชนีบอกระดับความเปียกของซลาฟเฟอร์..... 78
ค.11	การหาพลังงานผิวของของแข็ง..... 79
ค.12	การหาค่าแรงดึงผิววิกฤตจากราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิว และมุมสัมผัส..... 81
ค.13	หยดน้ำบนพลาสติกที่วางในอากาศ (ก) และหยดหมึกบนโลหะ คว่ำตะผิวน้ำ (ข)..... 82
ง.1	ตัวอย่างปากกาสำหรับวัดค่าพลังงานผิว..... 84
จ.1	ชิ้นงานที่มีการทำแห้งดี..... 86
จ.2	ชิ้นงานที่ทำแห้งไม่ดี เกิดปัญหาการซับหลัง..... 86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการพิมพ์ได้มีการนำระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมาใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มบรรจุภัณฑ์ วัสดุที่ใช้พิมพ์ที่นิยม ได้แก่ กระดาษ พลาสติก แผ่นโลหะเปลว เป็นต้น [12]

หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ สารให้สี เรซิน และตัวทำละลาย นอกจากส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนแล้วอาจมีสารเติมแต่งสำหรับวัตถุประสงค์การใช้งานบางอย่าง เช่น เพิ่มความลื่น หรือความมันเงา [13]

ตัวทำละลายในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ทำหน้าที่ละลายเรซินและผงสีเพื่อทำให้หมึกเจือจางในระดับที่ทำให้หมึกไหลได้ดีในระบบหมึก โดยบรรจุในเซลล์ของลูกกลิ้งแอนิสโตซิสของระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีได้และสามารถถ่ายทอดไปยังวัสดุพิมพ์ ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นแอลกอฮอล์ (alcohol) นอกจากนี้ยังอาจผสมตัวทำละลายอื่น ๆ เข้าไป เช่น เอสเทอร์ (ester) อีเทอร์ (ether) เป็นต้น แม้ว่าตัวทำละลายจะเป็นส่วนประกอบใหญ่ของหมึกพิมพ์ แต่เมื่อทำหน้าที่ในการนำพาผงสีและเรซินไปยังวัสดุพิมพ์แล้ว ตัวทำละลายก็หมดหน้าที่และจะถูกทำให้ระเหยไป การใช้ตัวทำละลายมีข้อเสียคือ ติดไฟง่ายและกลายเป็นพิษในอากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการระเหยของตัวทำละลาย [1]

จากข้อเสียของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่มีตัวทำละลายเป็นส่วนผสม จึงมีการผสมหมึกพิมพ์ฐานน้ำขึ้น แต่เนื่องด้วยหมึกพิมพ์น้ำคูดซึมยาก การใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำจึงยังจำกัดอยู่เฉพาะการพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ที่มีความสามารถในการดูดซึม เช่น กระดาษแข็ง กระดาษเหนียวหรือกระดาษคราฟท์ และกระดาษลูกฟูก เป็นต้น [4] มีตัวพาหลายตัวที่เป็นฐานน้ำ เช่น แอมโมเนีย (ammonia) และเคซีน (casein) หมึกพิมพ์ประเภทนี้แห้งตัวช้าและมีความมันวาวต่ำกว่าหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย แต่หมึกพิมพ์ฐานน้ำก็ได้รับความนิยมเนื่องจากใช้ง่ายและราคาถูกกว่าหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย ส่วนการพิมพ์หมึกพิมพ์ฐานน้ำบนวัสดุพิมพ์ประเภทพลาสติกยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากปัญหาในการยึดติดของหมึก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงตัวแปรที่อาจมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการพิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีโดยใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำบนวัสดุพิมพ์พอลิโพรพิลีน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของภาวะในการพิมพ์ คือ ความหนืดของหมึกพิมพ์ ความเร็วในการเดินเครื่อง และอุณหภูมิในการทำแห้ง ที่มีต่อคุณภาพงานพิมพ์คือเจดสีและการทนดู บนวัสดุใช้พิมพ์พอลิโพรพิลีน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาอิทธิพลของภาวะทางการพิมพ์ต่าง ๆ ดังนี้
ความหนืดของหมึกพิมพ์ฐานน้ำที่ 35, 40 และ 50 วินาที (วัดด้วยถ้วยดินคัพเบอร์ 4)
ความเร็วในการเดินเครื่อง 5,000 7,000 และ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง
ระดับความร้อนในการทำแห้ง ที่ระดับร้อยละ 0 , 50 และ 100

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนวัสดุใช้พิมพ์พอลิโพรพิลีน
2. ได้ทราบว่าความหนืดและความเร็วในการเดินเครื่อง มีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์คือเจดสีและการขาด
3. ได้ภาวะที่สามารถนำไปใช้ในการพิมพ์ด้วยการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนวัสดุใช้พิมพ์พอลิโพรพิลีนที่ให้คุณภาพทางการพิมพ์คือการยึดติดและความแตกต่างสีที่ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน

2.1 การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography)

การพิมพ์เฟล็กโซกราฟีหรือการพิมพ์เฟล็กโซ เป็นการพิมพ์พื้นนูนประเภทหนึ่ง ซึ่งใช้แม่พิมพ์ที่มีความยืดหยุ่นและหมึกพิมพ์ที่มีลักษณะเหลว สิ่งพิมพ์ส่วนใหญ่เป็นสิ่งพิมพ์ บรรจุภัณฑ์ [1,3]

2.1.1 แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี

แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นแม่พิมพ์พื้นนูนที่มีความยืดหยุ่น วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟีต้องมีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์และถ่ายทอดหมึกไปยังวัสดุพิมพ์ได้ วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เฟล็กโซมี 2 ประเภทคือยางและโฟโตพอลิเมอร์ แม่พิมพ์แต่ละประเภทเหมาะที่จะใช้กับกระบวนการผลิตที่ต่างกัน [4]

ก. แม่พิมพ์ที่ทำจากยาง ยางที่ใช้อาจเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ สมบัติของยางคือทนต่อแรงฉีกขาดและการขูดขีด แม่พิมพ์ยางอาจทำจากการตัดด้วยมือ การแกะ หรือการหลอม กระบวนการทำแม่พิมพ์จะใช้การฉายแสงจากแผ่นฟิล์มเนกาทีฟไปบนแผ่นโลหะผสมที่เคลือบผิวหน้าด้วยสารไวแสงในกรอบสุญญากาศ ส่วนที่ได้รับแสงจะแข็งตัว เมื่อนำแผ่นโลหะไปผ่านการกัดด้วยกรด ส่วนที่ไม่ได้รับแสงจะหลุดไป เหลือเฉพาะส่วนที่แข็งตัวซึ่งเป็นบริเวณภาพแผ่น โลหะนี้จะเป็นต้นแบบเพื่อทำแม่แบบหรือแม่พิมพ์ยางหล่อ (matrix) จากนั้นจึงใช้แม่แบบนี้เป็นต้นแบบในการทำแม่พิมพ์ยาง [7]

ข. แม่พิมพ์โฟโตพอลิเมอร์ เป็นแม่พิมพ์ที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากสามารถผลิตแม่พิมพ์ได้หลายลักษณะตามความต้องการ โดยทำแม่พิมพ์เพียงชั้นตอนเดียวและไม่ต้องทำแม่แบบ แม่พิมพ์ทำจากพอลิเมอร์หรือพลาสติกไวแสงซึ่งจะแข็งตัวถ้าได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต แม่พิมพ์ประเภทนี้ทำได้จากวัสดุประเภทโฟโตพอลิเมอร์แผ่น (sheet photopolymer) หรือแบบแข็ง (solid plate) และโฟโตพอลิเมอร์เหลว (liquid photopolymer) แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุทั้งสองประเภทสามารถใช้เป็นแม่พิมพ์ที่ติดเข้ากับโมแม่พิมพ์โดยใช้เทปเหนียวหรือหลอมเข้ากับพลาสติกหรือฐานโลหะเพื่อให้ความคงตัวและความแข็งแรงยิ่งขึ้น

2.1.2 เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ได้รับการออกแบบพิเศษสามารถผลิตสิ่งพิมพ์ได้จำนวนมาก เพราะพิมพ์งานระยะยาวได้โดยการป้อนม้วนและพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ได้หลายประเภท ตั้งแต่กระดาษบางจนถึงกระดาษลูกฟูก ฟิล์มพลาสติกบางจนถึงหนา และโลหะเปลวเครื่องพิมพ์มีตั้งแต่เครื่องพิมพ์ที่พิมพ์สีเดียวจนถึงเครื่องพิมพ์ที่มีมากกว่า 6 สี

เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนป้อน (infeed unit) ส่วนพิมพ์ (printing unit) ส่วนทำแห้งและส่วนหลังพิมพ์ ดังนี้ [16]

ก. ส่วนป้อน การพิมพ์เฟล็กโซกราฟีส่วนใหญ่เป็นการพิมพ์ป้อนม้วน และวัสดุใช้พิมพ์ส่วนใหญ่เป็นฟิล์ม โลหะเปลว วัสดุเคลือบ (laminated) สำหรับบรรจุอาหาร และบรรจุภัณฑ์ประเภทสุขอนามัยต่าง ๆ แต่การพิมพ์เฟล็กโซกราฟีแบบป้อนแผ่นก็เป็นที่นิยมใช้สำหรับการพิมพ์บนวัสดุประเภทกระดาษลูกฟูก ส่วนป้อนของเครื่องเฟล็กโซกราฟีแบบป้อนแผ่นคล้ายกับของเครื่องพิมพ์ออฟเซตแบบป้อนแผ่น ต่างกันแต่ว่าส่วนป้อนของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีป้อนแผ่นสามารถป้อนวัสดุใช้พิมพ์ที่มีความหนาและน้ำหนักมาก

ข. ส่วนพิมพ์ ส่วนพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีประกอบด้วยส่วนพิมพ์หลายส่วนสำหรับพิมพ์สีแต่ละสี เพื่อให้สามารถพิมพ์งานสอดคล้องจากการป้อนวัสดุใช้พิมพ์เพียงครั้งเดียว โดยมีหน่วยทำแห้งอยู่ระหว่างส่วนพิมพ์เพื่อทำให้หมึกแห้งก่อนพิมพ์สีถัดไป เมื่อมีการพิมพ์งานใหม่ ก็จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนส่วนพิมพ์แต่ละส่วนซึ่งต้องใช้เวลา

ส่วนประกอบที่สำคัญในส่วนพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีได้แก่โมแม่พิมพ์ โมกดพิมพ์ และระบบหมึก ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ข.1 โมแม่พิมพ์ มักทำจากโลหะบริสุทธิ์หรือโลหะผสม การติดแม่พิมพ์จะติดรอบโมแม่พิมพ์ โดยใช้เทปเหนียวสองหน้า ในเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีหน้าแคบ (narrow web) การถอดโมแม่พิมพ์เข้าออกทำได้ง่ายและสามารถใช้โมที่มีขนาดเส้นรอบวงต่างกัน ทำให้ปรับเปลี่ยนขนาดภาพพิมพ์ได้ง่าย

โมแม่พิมพ์มีแม่พิมพ์ที่หมุนตัวซึ่งทำจากสารโพโตพอลิเมอร์หรือยาง แม่พิมพ์จะได้รับหมึกจากลูกกลิ้งแอนิสติกส์ ที่ได้รับหมึกจากลูกกลิ้งส่งหมึก หมึกจากแม่พิมพ์จะถ่ายทอดไปยังวัสดุพิมพ์ที่ผ่านไประหว่างโมแม่พิมพ์และโมกดพิมพ์

ข.2 โมกดพิมพ์ มักเป็นโมโลหะเรียบ เส้นรอบวงของโมกดพิมพ์ไม่จำเป็นต้องเท่ากับเส้นรอบวงของโมแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังไม่จำเป็นต้องมีฝ้ายางหุ้มโดยรอบ

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ใช้แม่พิมพ์ที่มีความแข็งเพื่อพิมพ์งานที่ต้องการความละเอียด ควรใช้ฝ้ายางหุ้มโมกคพิมพ์เพื่อช่วยให้ได้แรงกดพิมพ์ที่นุ่มขึ้นและลดการสึกหรอของแม่พิมพ์

หน้าที่หลักของโมกคพิมพ์คือรองรับวัสดุใช้พิมพ์และการกดพิมพ์จากแม่พิมพ์ รวมทั้งขับเคลื่อน โมอื่น ๆ แรงกดระหว่างโมกคพิมพ์กับแม่พิมพ์ต้องน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดการพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ได้ เนื่องจากวัสดุใช้พิมพ์ส่วนใหญ่มีความบางมาก นอกจากนี้ทั้งแม่พิมพ์และบริเวณภาพบนแม่พิมพ์ยังมีความหยาบตัว จึงต้องใช้แรงกดในการพิมพ์น้อยที่สุด การใช้แรงกดพิมพ์มากเกินไปจะทำให้แม่พิมพ์และภาพพิมพ์ยึดตัว รวมทั้งทำให้แม่พิมพ์และวัสดุใช้พิมพ์สึกหรอ

ข.3 ระบบหมึก ระบบหมึกสำหรับแม่พิมพ์โพโตพลีเมอร์ ประกอบด้วยลูกกลิ้งจำนวนมาก ความเหนียวของหมึกพิมพ์มีตั้งแต่ข้นเหนียว (paste) จนถึงกึ่งเหลว (semi-liquid) แต่มีความเหนียวน้อยกว่าหมึกพิมพ์ออฟเซต

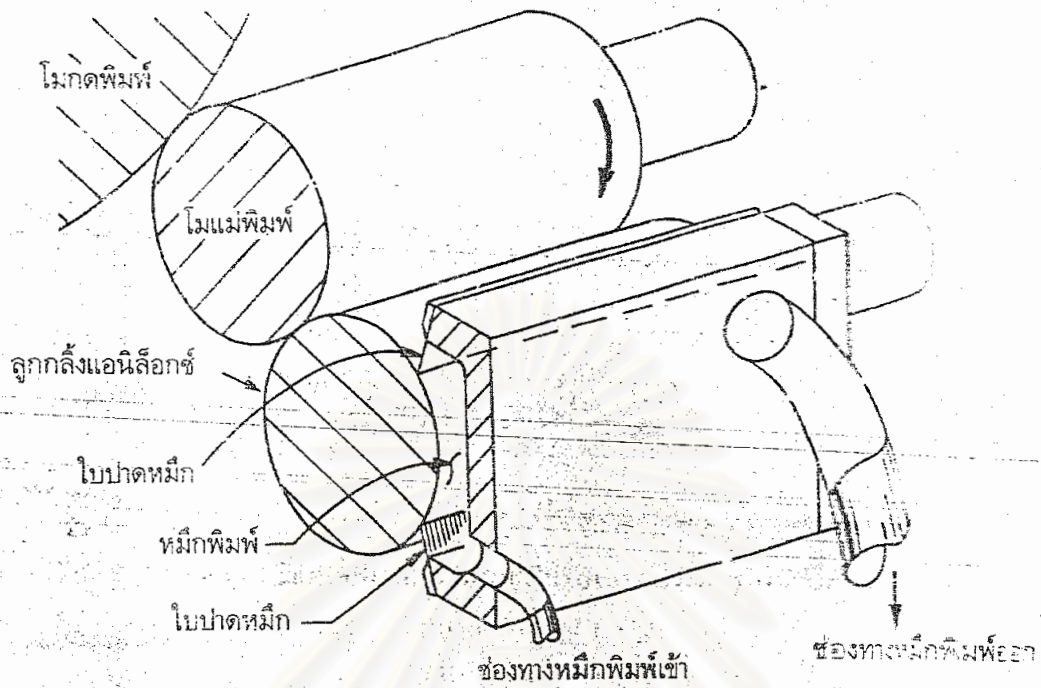
ระบบหมึกที่ง่ายที่สุด ประกอบด้วยรางหมึก (duct) ที่ควบคุมการไหลของหมึกด้วยใบปาดหมึก (doctor blade) ที่อ่อนตัว ใบปาดหมึกทำจากโลหะหรือวัสดุจำพวกฟีนอลิก (phenolic) หมึกพิมพ์จะอยู่ในอ่างหมึกขนาดใหญ่และป้อนเข้าไปในส่วนพิมพ์แต่ละส่วน ในเครื่องพิมพ์ที่มีโครงสร้างง่าย ๆ การปรับหมึกสามารถกระทำด้วยมือ แต่ในเครื่องพิมพ์ที่ให้ปริมาณการผลิตสูง การควบคุมหมึกจะใช้แผงควบคุมวิถีไกลแทน

การจ่ายหมึกลงสู่อ่างหมึกใช้การป้อนจากแหล่งเก็บหมึกขนาดใหญ่ มีการไหลเวียนหมึกอย่างต่อเนื่องเพื่อให้หมึกสะอาดและมีคุณภาพสม่ำเสมอและมีการควบคุมอัตราการไหลตามความเร็วของเครื่องพิมพ์และความเหนียวข้นของหมึก

รูปแบบของเซลล์บนลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มหมึก (ink film) รูปทรง ขนาดและความลึกของเซลล์บนลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์แตกต่างกันตามประเภทของงานพิมพ์ที่ต้องการและวัสดุพิมพ์ที่นำมาใช้

ลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์เป็นลูกกลิ้งที่มีการแกะสลักลายเป็นเซลล์ (cellular) ที่ผิวหน้า ความละเอียดของเซลล์มีตั้งแต่ 10 ถึง 550 เซลล์ต่อนิ้ว หรือ 25 ถึง 1,400 เซลล์ต่อเซนติเมตร มีการชุบผิวลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์ด้วยโครเมียมหรือเซรามิก เพื่อป้องกันการขีดข่วนและสึกหรอ เซลล์ที่ผิวหน้าลูกกลิ้งจะรับหมึกจากอ่างหมึกและถ่ายทอดให้แม่พิมพ์

โดยทั่วไปการทำลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์นิยมใช้โครงสร้างของเซลล์บนผิว 2 รูปแบบคือแบบพีระมิดหัวกลับ (inverted pyramid cell) ที่มีโครงสร้างของกำแพงในแนวลาดและมีปลายแหลมชี้ไปแกนกลางของลูกกลิ้ง โครงสร้างของเซลล์ที่นิยมใช้ในอีกรูปแบบหนึ่งคือแบบสี่เหลี่ยม (quadrangular cell) ซึ่งประกอบด้วยผนัง 4 ด้าน โดยมีกำแพงของบ่อหมึกเป็นแนวค่อนข้างตรงและฐานของบ่อแบนราบ



รูป 2.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี [16]

ก. ส่วนทำแห้ง มีหน้าที่ทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวเร็วขึ้นและมีอยู่หลายส่วน โดยจะติดตั้งอยู่หลังส่วนพิมพ์ ส่วนทำแห้งที่ติดตั้งอยู่หลังส่วนพิมพ์ส่วนสุดท้ายจะมีความยาวกว่าส่วนทำแห้งอื่น ๆ ส่วนทำแห้งที่ใช้กันมากมี 2 แบบ คือส่วนทำแห้งที่ใช้ลมร้อน (hot air dryer) และส่วนทำแห้งที่ใช้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV dryer) [8,16]

หมึกพิมพ์เมื่อพิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์แล้ว ต้องแห้งตัวยึดเกาะติดบนวัสดุใช้พิมพ์ กรณีที่วัสดุใช้พิมพ์เป็นกระดาษ ซึ่งมีสมบัติดูดซึมหมึกได้ดี การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ทำได้โดยการดูดซึมเข้าไปในเส้นใยของกระดาษ เมื่อตัวทำละลายระเหยตัวออกไปทำให้เรซินในหมึกพิมพ์ยึดผงสีให้ติดในเส้นใยของกระดาษได้ ปกติการแห้งตัวของหมึกพิมพ์มักไม่แห้งสนิททันที เพราะเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีส่วนใหญ่มีความเร็วในการพิมพ์ค่อนข้างสูงประมาณ 91-150 เมตรต่อนาที จึงจำเป็นต้องมีส่วนทำแห้งเพิ่มเติมขึ้น เพื่อช่วยให้หมึกพิมพ์แห้งตัวได้เร็วขึ้น

ก.1 หน่วยทำแห้งระบบใช้ลมร้อน หน่วยทำแห้งระบบใช้ลมร้อนเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเพื่อทำให้หมึกพิมพ์ฐานน้ำหรือเป็นหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายแห้งตัว เนื่องจากหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมีลักษณะเป็นของเหลวและตัวทำละลายในหมึกพิมพ์จะระเหยตัวออกจากหมึกพิมพ์เพื่อให้ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ เช่น

สารให้สี เรซิน เป็นต้น แห่งตัวเกาะอยู่บนวัสดุใช้พิมพ์ ตัวทำละลายในหมึกพิมพ์จะระเหยตัวได้ดีขึ้นเมื่อนำไปผ่านลมร้อนในหน่วยทำแห้ง หมึกพิมพ์บางชนิดต้องการอุณหภูมิในการแห้งตัวสูงกว่า 400 องศาฟาเรนไฮต์หรือ 204.4 องศาเซลเซียส จึงต้องใช้ลมร้อนเพื่อให้หมึกพิมพ์แห้งตัว

ปกติหน่วยทำแห้งมีลักษณะเป็นปล่องหรือคล้ายกล่องขนาดใหญ่ ติดตั้งอยู่ถัดจากส่วนพิมพ์แต่ละส่วนแยกกัน เรียกว่าหน่วยทำแห้งระหว่างส่วนพิมพ์และมีหน่วยทำแห้งสุดท้ายที่เป็นปล่องขนาดยาวกว่าหน่วยทำแห้งระหว่างส่วนพิมพ์ เรียกว่าหน่วยทำแห้งหลัก ซึ่งหน่วยทำแห้งหลักจะทำให้หมึกพิมพ์ทุกสีบนงานพิมพ์แห้งตัวเป็นครั้งสุดท้ายก่อนนำไปทำงานในขั้นต่อไป

หน่วยทำแห้งระหว่างส่วนพิมพ์ทำหน้าที่ระเหยตัวทำละลายจากหมึกพิมพ์ในปริมาณพอเพียงให้หมึกพิมพ์ที่เพิ่งพิมพ์แห้งตัวและไม่ทำให้หมึกพิมพ์สีที่พิมพ์ก่อนหน้านี้เปลี่ยนแปลงคุณภาพ หรือปัญหาการพิมพ์ เช่น ปัญหาการรอนหมึก เป็นต้น ส่วนหน่วยทำแห้งหลักทำหน้าที่ระเหยตัวทำละลายจากหมึกพิมพ์ทุกสีที่พิมพ์ให้หมึกพิมพ์แห้งตัวก่อนจะผ่านวัสดุใช้พิมพ์ไปยังหน่วยทำสิ่งพิมพ์สำเร็จหรือเข้าเป็นม้วนงานพิมพ์ จำนวนหน่วยทำแห้งระหว่างส่วนพิมพ์ขึ้นกับจำนวนส่วนพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี แต่จำนวนหน่วยทำแห้งหลักมักมีเพียง 1 หน่วยเท่านั้น เช่น เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่มี 4 ส่วนพิมพ์ จะมีหน่วยทำแห้งระหว่างส่วนพิมพ์ 3 ส่วนและมีหน่วยทำแห้งหลัก 1 หน่วย เป็นต้น

การทำงานของหน่วยทำแห้งระบบใช้ลมร้อน เริ่มจากการนำอากาศจากภายนอกโดยใช้อุปกรณ์ดูดอากาศแล้วผ่านอุปกรณ์กำเนิดความร้อน โดยอุปกรณ์กำเนิดความร้อนนี้อาจใช้ไฟฟ้าหรือแก๊สเป็นส่วนให้ความร้อนกับอากาศที่ดูดเข้ามา เพื่อให้ได้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัว ปกติจะใช้อุณหภูมิของลมร้อนประมาณ 300-400 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 148.8-204.4 องศาเซลเซียส ลมร้อนจากอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจะพ่นไปยังวัสดุใช้พิมพ์โดยผ่านชุดของท่อพ่นลมเล็ก ๆ ที่มีอยู่ตลอดแนวความกว้างของวัสดุใช้พิมพ์ และอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของวัสดุใช้พิมพ์ หลังจากตัวทำละลายระเหยออกจากหมึกพิมพ์แล้ว จะถูกอุปกรณ์ดูดอากาศอีกตัวหนึ่งหรือระบบควบคุมการระบายอากาศ (emission control system) ทำหน้าที่ดูดลมร้อนให้ออกไปด้านนอก ควบคุมปริมาณอากาศภายในให้สมดุลและไม่ให้เกิดมลพิษของอากาศภายในห้องพิมพ์ นอกจากนี้ยังช่วยให้การแห้งตัวเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดการพิมพ์ด้วย เนื่องจากอัตราการระบายอากาศจะมีผลต่อปริมาณความชื้นของตัวทำละลายที่หมุนเวียนอยู่ภายใน โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้อุณหภูมิลมร้อนต่ำกว่า 200 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 93.3 องศาเซลเซียส ถ้าปริมาณของตัวทำละลายในอากาศโดยรอบสูงเกินไป จะทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวได้ไม่ดี ดังนั้นหน่วยทำแห้งต้องมีการใช้แรงดันอากาศนำเข้าพอเพียงสำหรับช่วงอุณหภูมิลมร้อน

ทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อให้ความเร็วลมร้อนคงที่และมีการระบายอากาศพอเพียงที่รักษาปริมาณตัวทำละลายในอากาศให้คงที่ขณะทำแห้ง

การใช้หน่วยทำแห้งเพื่อทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวบนวัสดุใช้พิมพ์ได้พอดีต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน ปริมาณของลมร้อน ความเร็วของลมร้อนที่พัดลงบนวัสดุใช้พิมพ์และความยาวปล่องของหน่วยทำแห้ง ความเร็วของวัสดุใช้พิมพ์ที่ผ่านหน่วยทำแห้ง และระยะระหว่างท่อพัดลมกับวัสดุใช้พิมพ์ แต่ตัวชี้วัดที่ดีที่สุดที่กำหนดความสามารถของหน่วยทำแห้งที่เหมาะสมและคงที่ คือ อุณหภูมิของลมร้อน ถ้าท่อพัดลมปล่องลมร้อนด้วยอุณหภูมิไม่คงที่ มีผลให้เกิดการแห้งตัวเป็นจุด ๆ ทั่ว ๆ ไป เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนให้เพิ่มขึ้น มีผลให้วัสดุใช้พิมพ์โค้งงอ ดัดกันหรือยืดตัวได้ ในหน่วยทำแห้งจะมีการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนให้เหมาะสมกับสภาพพิมพ์และลักษณะงานพิมพ์แต่ละงานที่แตกต่างกันในด้านความเร็วในการพิมพ์ ชนิดของหมึกพิมพ์ และปริมาณของหมึกพิมพ์ที่ใช้ เช่น ถ้าปริมาณหมึกพิมพ์มาก ทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวได้ช้ากว่าปริมาณหมึกพิมพ์น้อย

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีส่วนใหญ่คือ อาจมีระยะระหว่างส่วนพิมพ์ แต่ละส่วนและระยะระหว่างส่วนพิมพ์สุดท้ายกับหน่วยทำสิ่งพิมพ์สำเร็จ มีน้อยมากสำหรับติดตั้งหน่วยทำแห้ง นอกจากนี้ลมร้อนที่เป่าลงบนแผ่นวัสดุใช้พิมพ์ อาจทำให้วัสดุใช้พิมพ์โค้งงอได้ หรือมีผลต่อการส่งผ่านวัสดุใช้พิมพ์ ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้ระบบทำแห้งแบบอื่นในเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี เช่น ระบบใช้รังสีอินฟราเรด เป็นต้น เพื่อให้สามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนจำนวนมากไปยังหมึกพิมพ์โดยไม่มีผลให้วัสดุใช้พิมพ์มีสมบัติเปลี่ยนไป แต่รังสีอินฟราเรดอย่างเดียวอาจไม่สามารถทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวอย่างมีประสิทธิภาพได้ เนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดให้ความร้อนสูง จึงมักร่วมกับระบบใช้ลมร้อน

2.1.3 หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

ก. ประเภทของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

การพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีข้อดี คือ การเตรียมเครื่องพิมพ์เพื่อเปลี่ยนงานจะทำได้ง่ายและรวดเร็ว แม้ว่าจะต้องเปลี่ยนวัสดุใช้พิมพ์ก็ตาม แต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับหมึกพิมพ์ซึ่งจะต้องเปลี่ยนไปตามวัสดุที่ใช้พิมพ์ เนื่องจากการพิจารณาเลือกใช้หมึกพิมพ์จะคำนึงถึงวัสดุใช้พิมพ์ การนำไปใช้งาน กระบวนการแปรสภาพและกฎระเบียบควบคุมที่เกี่ยวกับมลพิษและสิ่งแวดล้อม โดยจะต้องพยายามใช้หมึกพิมพ์ที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อมให้น้อยที่สุด ดังนั้นปัจจุบันจะมีการแนะนำให้ใช้หมึกพิมพ์ที่มีส่วนผสมของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic compound, VOC) มากขึ้น [2,5]

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงชนิดของหมึกพิมพ์ที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน เนื่องจากจะนำไปใช้พิมพ์วัสดุใช้พิมพ์ต่างกัน

ก.1 หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย (solvent-based ink) มักใช้สำหรับพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่เป็นกระดาษหรือฟิล์มพลาสติก หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายจะให้สมบัติที่ดีเมื่อนำไปใช้พิมพ์และนำไปใช้งาน เช่น แห้งตัวเร็ว ความทนทานต่อการถูขีด ความมันวาวสูง เป็นต้น สารสีที่ใช้ควรจะเป็นผงสีที่ทนทานต่อแสงเพราะหมึกพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานแสงได้นานโดยสีไม่ซีดจางเร็ว ตัวทำละลายที่ใช้ควรเป็นตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็ว เพื่อให้สามารถแห้งตัวได้ทันที เมื่อถ่ายโอนไปบนวัสดุใช้พิมพ์ ส่วนใหญ่จะใช้เอทานอล (ethanol) หรือ ไกลคอลลิเทอร์ (glycol ether) ส่วนตัวยึด (binder) จะเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้หมึกพิมพ์ยึดติดบนวัสดุใช้พิมพ์ได้ดี ตัวยึดหลักที่ใช้คือไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose)

การยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่มีสมบัติไม่ดูดซึมหมึกจะใช้พันธะทางเคมีและฟิสิกส์และการเปียกตัว (wetting) ระหว่างวัสดุใช้พิมพ์และหมึกพิมพ์เพราะหมึกพิมพ์ไม่สามารถแพร่กระจายเข้าภายในเนื้อวัสดุใช้พิมพ์ได้ หมึกพิมพ์สำหรับฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกันจะต้องการชนิดของเรซินที่จะเป็นตัวยึดแตกต่างกันหรืออาจจะต้องใช้เรซินหลายชนิดผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติของการยึดเกาะที่ดีและสมบัติอื่น ๆ ของหมึกพิมพ์ด้วย เช่น หมึกพิมพ์ที่พิมพ์บนฟิล์มพอลิโอลิฟินจะใช้เรซินประเภทพอลิเอไมด์ (polyamide) ซึ่งจะให้สมบัติยึดเกาะบนผิวหน้าของฟิล์มที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วได้ถึงร้อยละ 100 ให้ความมันวาวสูง ความยืดหยุ่นตัวดีและความต้านทานต่อน้ำ แต่ถ้าต้องการปรับปรุงสมบัติเกี่ยวกับความต้านทานการติดกันของหมึกพิมพ์ ความทนทานต่อความร้อนและความแข็งแรงของชั้นหมึกพิมพ์ก็อาจจะเติมไนโตรเซลลูโลสในจำนวนเล็กน้อย

ก.2 หมึกพิมพ์ฐานน้ำ (water-based ink) ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับพิมพ์บนกระดาษหรือวัสดุใช้พิมพ์ที่ดูดซึมหมึกได้ดี เมื่อกระดาษดูดซึมหมึกลงไปในส่วนใยกระดาษ น้ำจะระเหยตัวทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวยึดติดบนผิวกระดาษได้ ข้อดีของหมึกพิมพ์ฐานน้ำที่เหนือกว่าหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย คือหมึกพิมพ์ฐานน้ำจะมีอัตราการระเหยตัวต่ำกว่า การควบคุมสมบัติของหมึกพิมพ์ให้คงที่บนเครื่องพิมพ์จะทำได้ง่ายกว่าและจะแห้งตัวบนแม่พิมพ์หรือในรางหมึกได้ช้ากว่า และให้ความหนืดของหมึกคงที่มากกว่า นอกจากนี้ น้ำจะไม่ทำปฏิกิริยากับแม่พิมพ์โพโดพอลิเมอร์ ไม่ติดไฟและปลอดภัยต่อสภาวะแวดล้อมเพราะสามารถใช้น้ำในการล้างหมึกพิมพ์ออกจากเครื่องพิมพ์ได้ ในส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ฐานน้ำอาจจะต้องมีการเติมสารเพื่อเพิ่มสมบัติเฉพาะให้สามารถนำหมึกพิมพ์ไปใช้งานแล้วได้ผลตามต้องการ เช่น การเติมสารประกอบแว็กซ์ (wax) เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการถู การเติมสารป้องกันการเกิดฟอง (defoamer) ซึ่งเป็นสารประเภทซิลิโคนในรางหมึก เป็นต้น

ข. สมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีประกอบด้วยองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 3 อย่าง คือ สารให้สี ตัวพาและสารเติมแต่ง

สารให้สีมีหน้าที่ให้สีในหมึกพิมพ์ เมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์แล้ว ทำให้เกิดภาพปรากฏบนวัสดุพิมพ์ได้

สารให้สีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ผงสีและสีข้อม ความแตกต่างของผงสีและสีข้อมที่สำคัญคือ ความสามารถในการละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอื่น ๆ สีข้อมเป็นสารให้สีประเภทที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายต่าง ๆ ในขณะที่ผงสีนั้นไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ เพียงแต่กระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายเท่านั้น เนื่องจากสมบัติการไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ของผงสี จึงทำให้ผงสีเป็นสารให้สีที่นิยมใช้ในหมึกพิมพ์มากกว่าสีข้อม นอกจากนี้สีข้อมยังแตกต่างจากผงสีในเรื่องความทนแสงและสมบัติการกระเจิงแสงอีกด้วย สีข้อมส่วนใหญ่เกิดการซีดจางได้ง่ายกว่าผงสีเมื่อได้รับแสงสว่างเป็นเวลานานและเมื่อละลายในตัวทำละลายแล้วจะไม่กระเจิงแสง ดังนั้นจึงทำให้ได้สารละลายที่ใส ในขณะที่ผงสีกระเจิงแสง จึงทำให้หมึกพิมพ์ที่มีผงสีเป็นองค์ประกอบมีความทึบแสงมากกว่า

ผงสีที่ใช้ในหมึกพิมพ์ส่วนใหญ่เป็นผงสีที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีมากกว่าได้จากธรรมชาติ ผงสีที่ดีต้องเป็นผงสีที่กระจายตัวในตัวพาได้ดีเพื่อให้หมึกพิมพ์มีสมบัติการไหลที่ดี มีขนาดอนุภาคที่พอเหมาะกับความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่พิมพ์บนวัสดุ เพื่อว่าเมื่อพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์แล้วได้ผิวหน้าหมึกพิมพ์ที่มีความราบเรียบสม่ำเสมอและมีความอึดตัวสีสูง มีความเป็นกรดค้างที่เหมาะสมเพื่อว่าไม่ทำให้เกิดปัญหาหมึกพิมพ์แห้งตัวได้ไม่ดี ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาทางการพิมพ์อื่นๆ เกิดขึ้นตามมาได้ นอกจากนี้แล้วควรทนทานต่อการใช้งานและสภาพแวดล้อม เช่นทนทานต่อแสง ความชื้น และสารเคมีต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้ผงสีอาจจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้สองประเภทตามองค์ประกอบทางเคมี คือ ผงสีอินทรีย์ (organic pigment) และผงสีอนินทรีย์ (inorganic pigment)

สมบัติของผงสีและสีข้อมที่สำคัญเพื่อการเลือกใช้ผงสีและสีข้อมสำหรับผลิตหมึกพิมพ์ มีดังนี้

1. การดูดซึมน้ำมัน เป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับผงสี มีวิธีการทดสอบโดยการดูปริมาณน้ำมันลินซีด ที่ถูกดูดด้วยผงสีปริมาณ 100 กรัม จนกระทั่งผงสีไม่ดูดซึมน้ำมันอีก หน่วยที่ใช้วัดเป็นมิลลิลิตรต่อ 100 กรัม ค่าการดูดซึมน้ำมันยิ่งสูง เป็นผลทำให้หมึกพิมพ์หนืดมากขึ้น

2. ความเป็นกรดต่าง มีค่าตั้งแต่ 1-14 ความเป็นกรดต่างมีผลต่อเสถียรภาพของหมึกพิมพ์ โดยเกี่ยวข้องเป็นอย่างมากกับสภาพความเป็นกรด-ด่างของวารันิชหรือตัวพาทหมึก ซึ่งเป็นของผสมระหว่างเรซินและตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกพิมพ์นั้น

3. ความทนแสงแดด สามารถทดสอบโดยการนำผงสีมาทำให้เป็นหมึกก่อนแล้วทาไปบนวัสดุพิมพ์ รอจนหมึกแห้งแล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความชื้นจาง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นอาร์กถ่าน ตากไว้จนกระทั่งหมึกชื้นจางไป จำนวนชั่วโมงที่ได้จะได้รับการปรับคำนวณเป็นจำนวนชั่วโมงสำหรับการตากในแสงแดด ความทนแสงแดดจะมากหรือน้อยในการเลือกใช้ผงสีนั้นขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้

4. ความต้านทานต่อกรดและด่าง สามารถทดสอบโดยนำวัสดุพิมพ์ที่ได้รับการเคลือบด้วยหมึกพิมพ์ที่มีผงสีนั้นอยู่และแห้งแล้วมาจุ่มในสารละลายกรดและด่างประมาณสารละลายละครั้ง ชั่วโมง หลังจากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่ได้ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าผงสีนั้นไม่มีความต้านทานต่อกรดและด่าง สารละลายกรดที่ใช้โดยปกติจะเป็นสารละลายผสมของกรดอะซิติก (acetic acid) ร้อยละ 4 และกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 3 โดยปริมาตร ส่วนสารละลายด่างที่ใช้โดยปกติจะเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ร้อยละ 2 โดยปริมาตร

5. ความต้านทานต่อตัวทำละลาย สามารถทดสอบโดยผสมผงสีกับตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้ เช่น โทลูอีน (toluene) เมทิลเอทิลคีโตน (methyl ethyl ketone) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) หลังจากผสมแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที แล้วนำมากรองดูสีของผงสีว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

ตัวพา (vehicle) หรืออาจเรียกว่า วารันิช (varnish) เป็นของผสมระหว่างตัวทำละลาย เรซิน และ/หรือน้ำมันชักแห้ง ทั้งนี้ขึ้นกับว่าเป็นตัวพาสำหรับหมึกพิมพ์ของระบบการพิมพ์ใด ตัวพามีหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

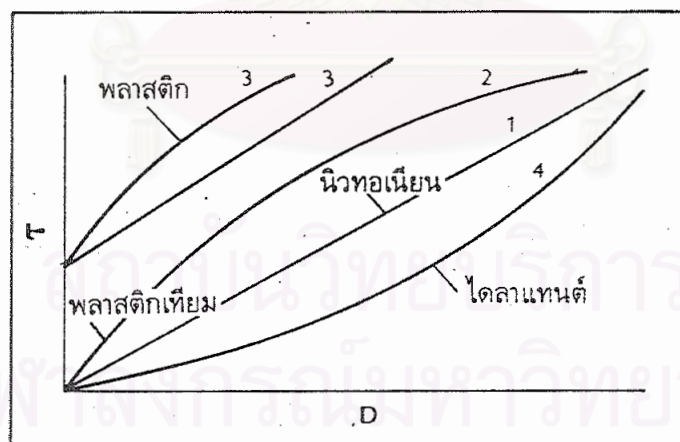
1. ทำเปียกสารให้สีเพื่อให้สารให้สีสามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในตัวพา
2. นำพาสารให้สีถ่ายโอนจากแม่พิมพ์ไปยังวัสดุพิมพ์ ทำให้เกิดการพิมพ์
3. ทำหน้าที่เป็นตัวยึด ให้สารให้สีติดอยู่บนวัสดุพิมพ์ได้

สารเติมแต่งเป็นสารที่เติมเข้าไปในหมึกพิมพ์เพื่อทำให้สมบัติบางอย่างของหมึกพิมพ์ดีขึ้น หรือเพื่อปรับหมึกพิมพ์ให้มีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อนำไปใช้พิมพ์บนวัสดุและเมื่อนำสีพิมพ์ไปใช้งาน เช่น สารทำแห้ง แวกซ์ สารเพิ่มสภาพพลาสติก เป็นต้น

อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่าหมึกพิมพ์ทุกชนิดจะต้องมีองค์ประกอบทั้งสามอย่างครบถ้วนเหมือนกันหมด ทั้งนี้ขึ้นกับว่าหมึกพิมพ์นั้นผลิตขึ้นตามปัจจัยใดในข้างต้นเป็นสำคัญ

เนื่องจากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสามารถพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ได้หลายชนิด ดังนั้นหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่เหมาะสมสำหรับวัสดุพิมพ์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ส่วนประกอบหลักของหมึกพิมพ์ ได้แก่ สารสี ตัวยึด และตัวทำละลาย การเลือกชนิดของสารสีขึ้นกับความต้องการเกี่ยวกับสีและความเข้มสี และความทนทานต่อแสง ชนิดของตัวยึดจะมีผลต่อสมบัติที่เกี่ยวกับการยึดเกาะและความแข็งแรงทนทานของหมึกพิมพ์ ส่วนชนิดตัวทำละลาย แม้จะไม่มีผลต่อสมบัติที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของหมึกพิมพ์โดยตรง แต่จะมีผลต่อสมบัติของตัวยึด ความสามารถในการละลายของส่วนประกอบต่าง ๆ ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันและสมบัติการไหลของหมึกพิมพ์ การทำให้หมึกพิมพ์แต่ละชนิดมีสมบัติเฉพาะสำหรับวัสดุพิมพ์จะเป็นการเลือกชนิดของสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหมึกพิมพ์และปรับสัดส่วนของส่วนผสมนั้นอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามสมบัติหลัก ๆ ของหมึกพิมพ์ที่จำเป็นต่อการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี มีดังนี้

ข.1 การไหล (fluidity) ของเหลวต่าง ๆ จะมีคุณลักษณะการไหล (flow characteristics) ได้หลายแบบ โดยแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือแบบนิวทอนเนียน (newtonian) และแบบไม่ใช่ นิวทอนเนียน (non newtonian) กราฟการไหลของของเหลวแบบต่าง ๆ เรียกว่า รีโอแกรม (rheogram) ซึ่งที่จริงคือ กราฟแสดงความหนืด โดยเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นเฉือน (shear strain) และอัตราเฉือน (shear rate) ดังภาพที่ 2.2 โดยการอ่านค่ากราฟใช้หลักการที่ว่า การไหลจะแปรกลับกับความหนืด ตัวอย่างเช่นของเหลวจะไหลได้ดีและเร็วขึ้นเมื่อความหนืดลดลง [17]



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความหนืดซึ่งแสดงคุณลักษณะการไหลของของเหลวแบบต่าง ๆ [17]

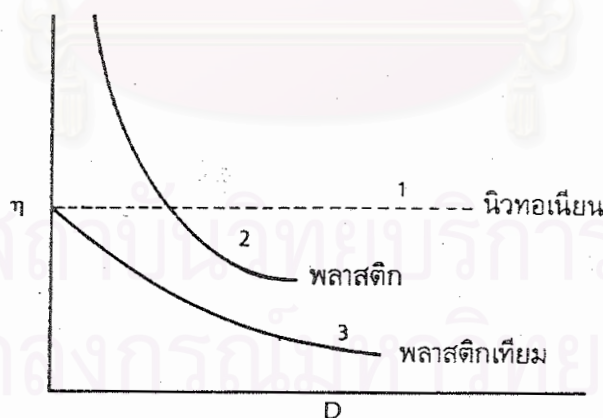
1) แบบนิวทอนเนียน (newtonian) เป็นการไหลที่ไม่ซับซ้อนที่สุดเนื่องจากอัตราเฉือนจะเป็นสัดส่วนที่แปรตรงกับความเค้นเฉือน และได้เป็นกราฟเส้นตรงดั่งเส้น 1 ตัวอย่างของเหลวที่มี

การไหลแบบนี้ ได้แก่ น้ำ กลิเซอริน น้ำมันที่ไม่ค่อยหนืด และสารละลายต่าง ๆ เป็นต้น ของเหลวที่ไหลแบบนิวทอนเนียนเมื่อได้รับความเค้นเฉือนมากจะทำะไหลอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีความหนืดต่ำมากหรือมีแรงต้านการไหลน้อยนั่นเอง เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเค้นเฉือน จะเห็นว่า ความหนืดมีค่าคงที่ไม่ว่าขนาดของความเค้นเฉือนจะเป็นเท่าใด



รูปที่ 2.3 การไหลแบบนิวทอนเนียน ความหนืดมีค่าคงที่ [17]

2) แบบไม่ใช่นิวทอนเนียน (non newtonian) เป็นแบบการไหลที่ซับซ้อนกว่าแบบนิวทอนเนียน เรียกว่าการไหลหนืด (viscous flow) เนื่องจากอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นกราฟได้หลายแบบและไม่ใช่กราฟเส้นตรง ของเหลวที่มีการไหลแบบนี้จะมีความหนืดที่ระดับต่าง ๆ การไหลแบบไม่ใช่นิวทอนเนียนมี 4 แบบดังเส้นกราฟที่ 2 3 และ 4 ในรูปที่ 2.2

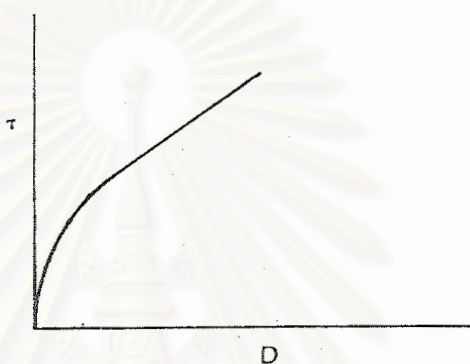


รูปที่ 2.4 การไหลแบบไม่ใช่นิวทอนเนียน ความหนืดมีค่าไม่คงที่ [17]

2.1) แบบพลาสติกเทียม (pseudoplastic flow) การไหลแบบนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเค้นเฉือน เช่น การคนหรือการกวนของเหลว ความหนืดจะลดลง ของเหลวจะเหลวและ

ไหลได้ดีกว่าตอนที่ยังไม่มี ความเค้นเฉือน จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า shear thinning ของเหลวที่มีการไหลแบบพลาสติกเทียมนี้เมื่อไหลแล้ว ความหนืดของของเหลวจะลดลงตลอดไป ไม่มีการคืนกลับสู่ความหนืดเดิม ทั้งนี้ เนื่องจากโครงสร้างของของเหลวเปลี่ยนแปลงไปแล้วอย่างถาวร ตัวอย่างของเหลวที่มีการไหลแบบพลาสติกเทียม ได้แก่ สารละลายพอลิเมอร์ แป้งเปียก และอิมัลชันบางชนิด เป็นต้น

เส้นกราฟการไหลแบบพลาสติกเทียมนี้จะมีลักษณะโค้งออกจากแกนของความเค้นเฉือน ดังรูปที่ 2.5



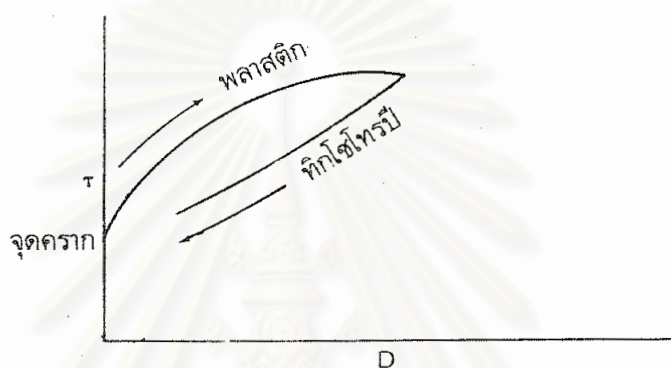
รูปที่ 2.5 เส้นกราฟการไหลแบบพลาสติกเทียม [17]

2.2) แบบพลาสติก (plastic flow) การไหลแบบนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเค้นเฉือน เช่นการคนหรือการกวนของเหลว ความหนืดจะเพิ่มขึ้น ทำให้ในช่วงต้นที่ของเหลวได้รับการกวนของเหลวจะไม่ไหลจนกระทั่งการกวนกระทำต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ถึงจุดหนึ่ง ของเหลวจะเริ่มมีความหนืดลดลงและเริ่มที่จะไหล ณ จุดที่ความเค้นเฉือนทำให้ของเหลวเริ่มไหล เรียกว่า จุดคราก (yield point หรือ yield value) หลังจากนั้นของเหลวจะเหลวมากขึ้นและไหลได้ดีกว่าตอนที่ยังไม่มี การกวน ของเหลวที่มีการไหลแบบพลาสติกนี้เมื่อไหลแล้ว ความหนืดของของเหลวจะลดลงชั่วขณะเท่านั้น หากหยุดการกวนหรือหยุดให้ความเค้นเฉือน ของเหลวจะเริ่มกลับมาหนืดขึ้นจนในที่สุดจะหยุดไหล และคืนกลับสู่ความหนืดเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของของเหลวเปลี่ยนแปลงไปเพียงชั่วคราวเท่านั้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ทิกโซโทรปี (thixotropy) ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการไหลแบบพลาสติกนอกเหนือไปจากการมีจุดครากและเป็นสมบัติที่นอกจากจะขึ้นกับขนาดของความเค้นเฉือน (shear dependence) แล้วยังขึ้นกับระยะเวลาที่ได้รับและหยุดให้ความเค้นเฉือน (time dependence) อีกด้วย

ของเหลวที่มีการไหลแบบนี้จะมีสถานะกึ่งหนืดกึ่งยืดหยุ่น กล่าวคือ เมื่อให้ความเค้นเฉือนทันทีจะยืดหยุ่นเหมือนของแข็ง แต่เมื่อให้ความเค้นเฉือนไปเรื่อย ๆ จะเริ่มหนืดโดยความ

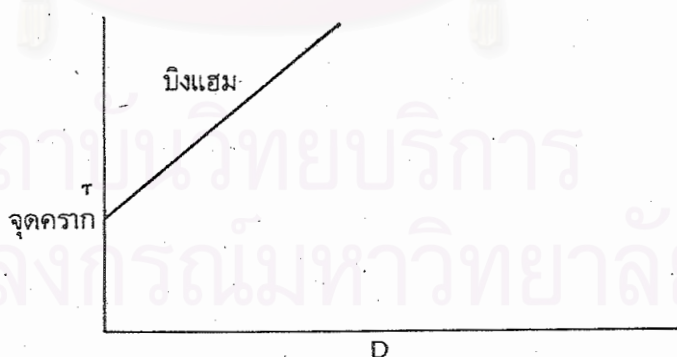
หนืดจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นลักษณะของของเหลว ตัวอย่างของเหลวที่มีการไหลแบบพลาสติก ได้แก่ หมึกพิมพ์ สีทาบ้านและหมึกพิมพ์ผ้า เป็นต้น

เส้นกราฟการไหลแบบพลาสติกนี้โดยทั่วไปจะมีลักษณะโค้งออกจากแกนของความเค้นเหมือนเช่นเดียวกับแบบพลาสติกเทียม แต่ต่างกันตรงที่ว่าเส้นกราฟจะเริ่มโค้งออกจากแกนความเค้นเมื่อตรงจุดคราก เรียกว่าการไหลแบบแคสสัน (Casson flow) นอกจากนี้ยังแสดงลักษณะเป็นฮิสเทอรีซิสลูป (hysteresis loop) ที่เกิดจากปรากฏการณ์ทิกโซโทรปีหลังจากที่หยุดให้ความเค้นเหมือนแก่ของเหลว ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เส้นกราฟการไหลแบบพลาสติก-แคสสันที่แสดงฮิสเทอรีซิสลูปที่เกิดสมบัติทิกโซโทรปี [17]

แต่อย่างไรก็ตามเส้นกราฟการไหลแบบพลาสติกยังมีแบบที่จะมีลักษณะโค้งเข้าหาแกนของความเค้นเหมือนก็ได้ ซึ่งไม่ค่อยพบหรือเป็นแบบเส้นตรงก็ได้เรียกว่าไหลแบบบิงแฮม (Bingham flow) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การไหลแบบพลาสติก-บิงแฮม [17]

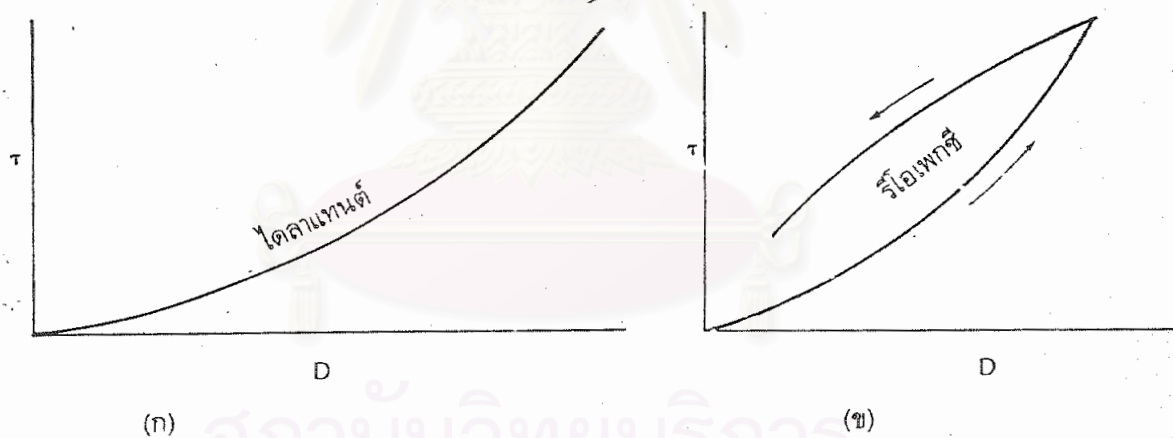
2.3) แบบไดลาแทนต์หรือไดลาแทนซี (dilatant flow) เป็นลักษณะการไหลที่ตรงข้ามกับแบบพลาสติกเทียม กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเค้นเหมือน แรงต้านการไหลลดลง ความ

หนืดจะเพิ่มขึ้น ที่สำคัญคือ ปริมาตรของของเหลวจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากมีช่องว่างเกิดขึ้นทำให้ อากาศแทรกเข้าไปได้ การยิ่งกวนหรือยิ่งคน จะทำให้ของเหลวยิ่งหนืด (shear thickening)

แต่เมื่อหยุดให้ความเค้นเฉือน ความหนืดของของเหลวจะลดลงและกลับสู่ความหนืด เดิมก่อนที่จะได้รับความเค้นเฉือน เรียกปรากฏการณ์คืนกลับสู่สภาพเดิมของของเหลวที่ตรงข้าม กับการไหลแบบไดลาแทนต์นี้ว่า รีโอเพกซี (rheopexy) อย่างไรก็ตามการไหลแบบไดลาแทนต์นี้ ไม่มีจุดครากและไม่เกิดทิกโซโทรปี

ตัวอย่างของเหลวที่มีการไหลแบบไดลาแทนต์ ได้แก่ ทรายในน้ำ ผงแป้งในน้ำที่ยังไม่ สุก ผงสีที่เข้มข้นมาก ๆ เป็นต้น

เส้นกราฟการไหลแบบไดลาแทนต์นี้มีลักษณะโค้งเข้าหาแกนของความเค้นเฉือน ดัง รูปที่ 2.8 (ก) เมื่อหยุดให้ความเค้นเฉือนจะได้เส้นกราฟรีโอเพกซีซึ่งเป็นเส้นกราฟที่ต่อเนื่องกับเส้น กราฟไดลาแทนต์เพียงแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.8 (ข)



รูปที่ 2.8 การไหลแบบไดลาแทนต์และรีโอเพกซี [17]

หมึกเฟล็กโซกราฟิเป็นหมึกเหลว สมบัติที่จำเป็นของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟิบนเครื่อง พิมพ์ ก็จะต้องเป็นของเหลวที่ไหลได้อย่างอิสระและจะต้องคงสภาพการไหลนี้จนกว่าหมึกพิมพ์ จะถ่ายทอดไปยังวัสดุพิมพ์ ก่อนที่จะนำหมึกพิมพ์ไปใช้อาจจะต้องมีการปรับส่วนผสมของตัว ทำละลายเพื่อให้เกิดความหนืดของหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมที่จะให้คุณภาพของงานพิมพ์ที่ดี ปกติ เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟิส่วนใหญ่จะมีอ่างจ่ายหมึกอยู่ใต้ส่วนพิมพ์และจะมีตัวบีบที่บีบหมึกพิมพ์

จากอ่างหมึกมาที่รางหมึก ส่วนของหมึกที่ล้นออกมารางหมึกจะไหลย้อนกลับไปที่อ่างจ่ายหมึก นอกจากนี้จะมีระบบควบคุมสมบัติของหมึกให้คงที่สม่ำเสมอ เช่น ระบบควบคุมความหนืด ระบบควบคุมความเป็นกรดต่าง เป็นต้น ดังนั้น ในระบบหมุนเวียนของหมึกพิมพ์ที่จะนำไปใช้ในเครื่องพิมพ์ หมึกพิมพ์ที่อยู่ในลูกกลิ้งหมึก ในจุดสัมผัสต่าง ๆ ของโมและใบปาดหมึกจะต้องมีสมบัติการไหลที่ดี

หมึกพิมพ์ที่ใช้สารสีเป็นสีข้อมักจะให้สมบัติของการไหลที่ดีกว่าหมึกที่ใช้ผงสี เนื่องจากส่วนประกอบที่เป็นของแข็ง เช่น ตัวยึด และสารสีจะมีสัดส่วนที่น้อยลง นอกจากนี้ การระเหยของตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ที่ใช้สีข้อมจะไม่ทำให้ความหนืดของหมึกพิมพ์เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะมีผลให้สีของหมึกพิมพ์มีความเข้มสีเพิ่มมากขึ้น

ข.2 ความหนืด (viscosity) ความหนืดของหมึกพิมพ์เป็นสมบัติสำคัญของการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี เพราะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ในระหว่างการพิมพ์ การกำหนดค่าความหนืดของหมึกที่เหมาะสมจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ของการพิมพ์งานแต่ละงาน เช่น ความเร็วของเครื่องพิมพ์ วัสดุใช้พิมพ์ ระบบการจ่ายหมึก อุณหภูมิขณะพิมพ์ เป็นต้น

ความหนืดเป็นพฤติกรรมหรือเป็นสมบัติทางกระแสวิทยาของของไหลทั้งของเหลวและก๊าซ เมื่อให้แรงกระทำต่อของเหลวชนิดหนึ่ง พบว่าของเหลวนั้นจะไหล แต่เมื่อหยุดให้แรงกระทำ ของเหลวจะหยุดไหล แต่ว่าการไหลนั้นจะไม่ไหลย้อนกลับไปทางเดิมหรือย้อนไปตำแหน่งเดิม เนื่องจากไม่มีพลังงานสะสมสำหรับทำงานนี้ เพราะในขณะที่เกิดการไหล พลังงานที่ใช้ในการไหลจะถูกปลดปล่อยไปแล้วในรูปของความร้อน การที่ของเหลวไม่สามารถไหลได้อย่างอิสระหรือไหลได้อย่างเต็มที่ก็เนื่องมาจากแรงหน่วงหรือแรงต้านการไหลหรือความหนืด ซึ่งเป็นสมบัติของของเหลวที่ตรงข้ามกับสภาพการไหล (fluidity)

สมมติให้ส่วนของของเหลวมีลักษณะดังภาพที่ 2.9 คือเป็นชั้นของเหลวบาง ๆ ซ้อนกันหลายชั้น กำหนดให้แต่ละชั้นมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A ของเหลวชั้นบนอยู่ห่างจากชั้นล่างเป็นระยะเท่ากับ y ของเหลวชั้นบนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ v ความยาวของลูกศรในแต่ละชั้นเป็นสัดส่วนกับความเร็วที่ชั้นของเหลวชั้นนั้นแทนด้วยสัญลักษณ์ v_x แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ คือ F/A และแทนด้วยสัญลักษณ์ T ซึ่งเป็นสัดส่วนกับเกรเดียนต์ของความเร็ว หรืออัตราเฉือน (shear rate) แทนด้วยสัญลักษณ์ D

ความหนืดของของเหลวแทนด้วยสัญลักษณ์ η เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือน (T) กับอัตราเฉือน (D) ดังนี้

$$\eta = \tau/D$$

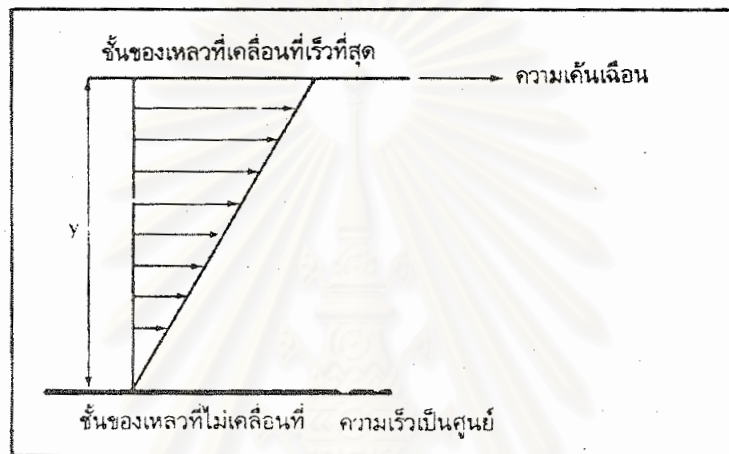
(สมการที่ 2.1)

เมื่ออัตราเฉือน คือความเร็วของชั้นวัตถุที่เคลื่อนที่เมื่อได้รับแรงเฉือนต่อระยะระหว่างชั้นเนื้อวัตถุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงเฉือน

เมื่อ v คือความเร็วของชั้นวัตถุที่เคลื่อนที่เมื่อได้รับแรงเฉือน และ y คือระยะระหว่างชั้นเนื้อวัตถุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงเฉือน ดังนั้น

$$D = v/y$$

.....(สมการที่ 2.2)



รูปที่ 2.9 แบบจำลองการไหลและความหนืดของของเหลวเมื่อได้รับความเค้นเฉือน [17]

จากรูป 2.9 $\tau =$ ความเค้นเฉือน $= F/A$

$D =$ อัตราเฉือน $= v/y$

เนื่องจากความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนกับอัตราเฉือน ดังนั้น $\tau \propto D$ เมื่อ η คือความหนืด ดังนั้น

$$\tau = \eta D$$

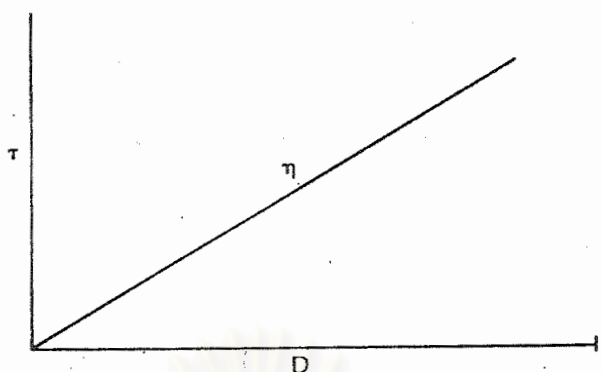
.....(สมการที่ 2.3)

เขียนเป็นสมการความหนืดของของเหลว ได้ดังนี้

$$\eta = \tau/D$$

.....(สมการที่ 2.4)

ซึ่งสามารถเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของของเหลว (η) ความเค้นเฉือน (τ) กับอัตราเฉือน (D) ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของของเหลว
ความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน [17]

สมบัติหนืดของของเหลวนั้นมีลักษณะที่สำคัญคือ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน โดยความหนืดแปรกลับกับอุณหภูมิ แต่จะแปรตามความดัน เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดจะลดลง แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้น

เมื่อโมเลกุลของของเหลวได้รับความร้อน โมเลกุลจะเคลื่อนที่ ถ้าพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นมีมากจนเอาชนะแรงที่เกิดจากความหนืด ในที่สุดของเหลวจะเริ่มไหลดีขึ้น

หน่วยของความหนืดหรือสัมประสิทธิ์ความหนืด คือ พอยส์ (poise) และเซนติพอยส์ (centipoise) หมึกพิมพ์ออฟเซตซึ่งเป็นหมึกประเภทขุ่นเหนียวมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 50-100 พอยส์ ในขณะที่หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟซึ่งจัดว่าเป็นหมึกเหลว มีค่าความหนืดระหว่าง 0.1-1.0 พอยส์

หน่วยของความหนืดจลน์ (dynamic viscosity) คือปาสคาล.วินาที (pascal.second, Pa.s) หรือมิลลิปาสคาล.วินาที (millipascal.second, mPa.s)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับอนุภาคในของเหลวที่มีผลต่อความหนืด

ความหนืดของของเหลวนอกจากจะขึ้นกับสมบัติและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างของเหลวเองแล้วยังขึ้นกับปัจจัยสำคัญอีก 3 ประการ คือ การเรียงตัวของอนุภาคฟุ้งกระจายในของเหลว รูปร่างของอนุภาคและลักษณะการจับตัวกันของอนุภาคฟุ้งกระจายนั้น

1. การเรียงตัวของอนุภาคฟุ้งกระจายในของเหลว ความหนืดของของเหลวที่เป็นคอลลอยด์พบว่าขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายตัวของอนุภาคฟุ้งกระจายว่าเป็นสุ่มกระจายอยู่ทั่วไปอย่างไม่เป็นระเบียบ (random) หรือแบบเรียงตัวตามกันในแนวทิศทางของความเค้นเฉือน (alignment) โดยความสัมพันธ์จะเป็นดังนี้ คือค่าความหนืดจะแปรตามการกระจายแบบสุ่มแต่จะแปรกลับกับการกระจายแบบเรียงตัว ดังนั้นถ้าอนุภาคฟุ้งกระจายแบบสุ่มและไม่เป็นระเบียบมาก

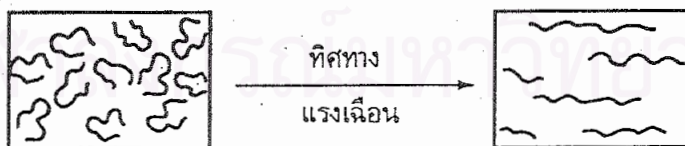
ของเหลวจะหนืดมาก แต่เมื่อใดที่อนุภาคฟุ้งกระจายเรียงตัวตามกันอย่างเป็นระเบียบ ของเหลวจะหนืดน้อยลง จะเห็นว่าส่วนใหญ่แล้วถ้ามีการกวนของเหลว จะทำให้ไหลดีขึ้น ทั้งนี้เพราะการกวนเป็นการทำให้อนุภาคฟุ้งกระจายในของเหลวเรียงตัวตามกันในแนวทิศทางของความเค้นเฉือนมากขึ้นนั่นเอง

2. รูปร่างของอนุภาค อนุภาคมีรูปร่างได้หลายแบบ ในที่นี้จะยกตัวอย่างเพียง 4 แบบ คืออนุภาคแบบแท่ง (rod particle) อนุภาคแบบโซ่พอลิเมอร์แบบขดลวด (coiled polymer) อนุภาคแบบทรงกลม (spherical particle) และอนุภาคอสัณฐาน (amorphous particle)

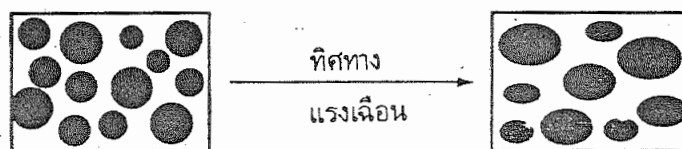
2.1 อนุภาคแบบแท่ง เมื่อให้ความเค้นเฉือนแก่ของเหลว จะพบว่าของเหลวที่มีอนุภาครูปแท่งจะมีความหนืดลดลง เนื่องจากอนุภาครูปแท่ง ต่างก็พากันเรียงตัวในแนวขนานทิศทางของความเค้นเฉือน



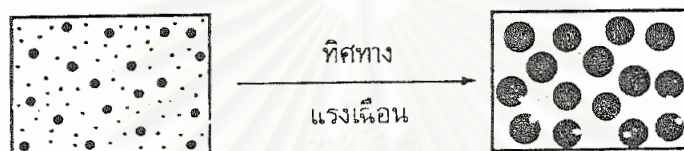
2.2 อนุภาคแบบโซ่พอลิเมอร์แบบขดลวด หลังจากที่ได้รับ ความเค้นเฉือนแล้วอนุภาคโซ่พอลิเมอร์แบบขดลวด จะคลายตัวและยืดยาวออกในทิศทางที่ขนานกับแนวความเค้นเฉือนนั้น ความหนืดจึงลดลง เช่นกัน อย่างไรก็ตามความหนืดอาจไม่ลดลงเสมอไป เนื่องจากอิทธิพลของพันธะไฮโดรเจน ถ้าแรงยึดจากพันธะไฮโดรเจนต่ำ อนุภาคโซ่พอลิเมอร์แบบขดลวดจะคลายตัวและยืดยาวออกในทิศทางที่ขนานกับแนวความเค้นเฉือน แต่ถ้าแรงยึดจากพันธะไฮโดรเจนสูง อนุภาคโซ่พอลิเมอร์แบบขดลวดจะยังพันกันมากขึ้น ในกรณีนี้ความหนืดจะเพิ่มขึ้น



2.3 อนุภาครูปทรงกลม ในของเหลวที่มีอนุภาคฟุ้งกระจายเป็นแบบทรงกลม ถ้าอนุภาคนั้นไม่มีแรงกระทำระหว่างอนุภาค อนุภาคเหล่านั้นจะเคลื่อนที่ขนานกันและไปในแนวเดียวกับทิศทางของความเค้นเฉือน



แต่ถ้าอนุภาคนั้นมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค อนุภาคจะเข้ามารวมกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ถ้าเป็นแรงผลักระหว่างอนุภาค จะเกิดการกระแทกกันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคอาจรวมตัวกัน จึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน



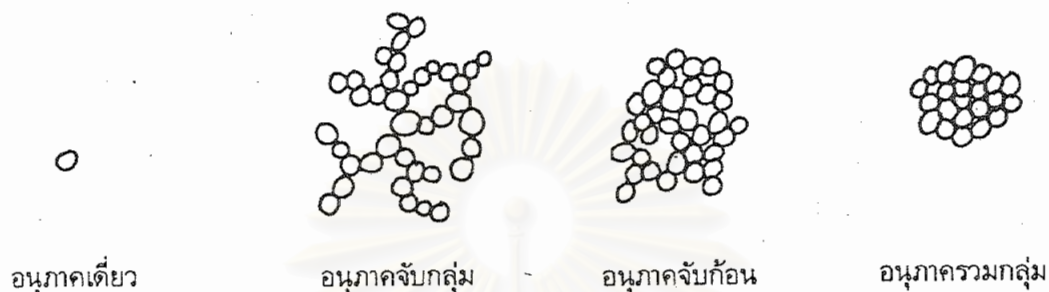
2.4 อนุภาคอสัณฐาน ที่อยู่ในของเหลวซึ่งมีอนุภาคฟุ้งกระจายแบบบอสันฐานและมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้อย เมื่อได้รับแรงเฉือน ก็จะแตกตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กและไหลเรียงตัวกันเป็นแถวในแนวเดียวกับทิศทางของแรงเฉือน



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ลักษณะการจับตัวกันของอนุภาคฟุ้งกระจาย อนุภาคฟุ้งกระจายในของเหลวนั้นอาจอยู่ในรูปของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาครวม ได้แก่ อนุภาคจับกลุ่ม (floculate) อนุภาคจับ

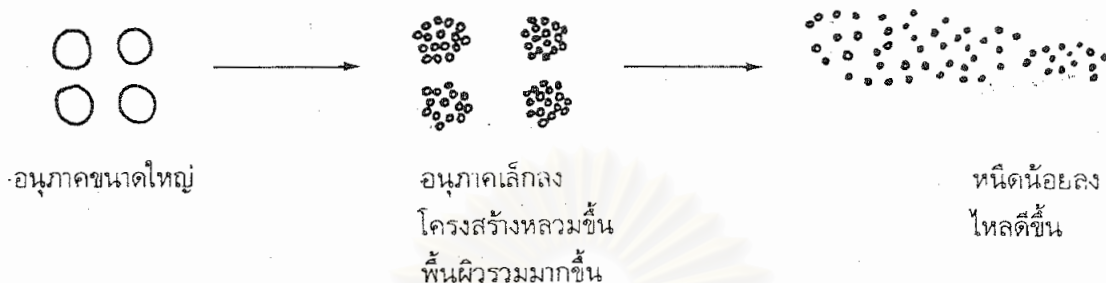
ก้อน (coagulate) หรืออนุภาครวมกลุ่ม (aggregate) ซึ่งเป็นการเกาะกันของอนุภาคเดี่ยวมากขึ้น ทำให้ขนาดอนุภาครวมใหญ่และแน่นขึ้นตามลำดับ



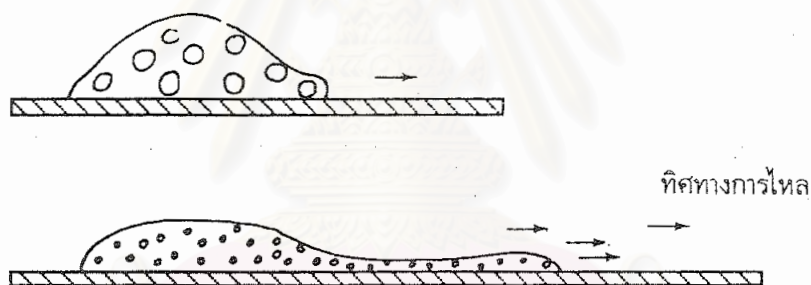
รูปที่ 2.11 ลักษณะของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาครวมแบบต่าง ๆ [17]

ความหนืดของเหลวขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาครวมแบบต่าง ๆ โดยจะแปรตามปริมาณของอนุภาครวมกลุ่ม และแปรกลับกับปริมาณอนุภาคเดี่ยว ตัวอย่างเช่น ความหนืดจะน้อย เมื่อมีปริมาณหรือสัดส่วนของอนุภาคเดี่ยวมากกว่าอนุภาครวมกลุ่ม แต่ถ้ามีอนุภาครวมกลุ่มมาก ความหนืดจะมากขึ้น ทั้งนี้เพราะขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและแน่นจะต้านการไหลได้มากกว่าอนุภาคเล็ก

หลังจากที่ของเหลวได้รับความเค้น เช่น การคน การกวน โครงสร้างที่เป็นอนุภาครวม จะถูกทำลายลงได้เป็นอนุภาครวมที่มีขนาดเล็กลง มีโครงสร้างที่หลวมขึ้นและบางส่วนกลายเป็นอนุภาคเดี่ยว ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดพื้นผิวใหม่ ๆ มากขึ้น ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีข้อดีคือ เพิ่มพื้นที่ระหว่างผิวและเพิ่มความสามารถในการละลาย (high solvation) ของอนุภาคในของเหลว ความหนืดจะลดน้อยลงและไหลได้ดีขึ้น เป็นการเปลี่ยนแปลงการไหลของของเหลวจากแบบที่ไม่ใช่นิวตอเนียน (non-newtonian flow) ไปเป็นแบบนิวตอเนียน (newtonian flow)



รูปที่ 2.12 แผนภาพแสดงขั้นตอนการลดลงของความหนืดเมื่อรูปร่างของอนุภาคในของเหลวเล็กลง [17]



รูปที่ 2.13 การแตกตัวของอนุภาคจนวนมีขนาดเล็กลงปริมาณรวมของกลุ่มอนุภาคเท่าเดิม แต่พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ความหนืดลดลง ของเหลวจะไหลได้ดีขึ้น [17]

ข.3 สีและความเข้มข้น สีและความเข้มข้นในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีจะขึ้นกับ

ชนิดของสารสี และความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่ถ่ายโอนไปยังวัสดุใช้พิมพ์ และความหนาของชั้นหมึกพิมพ์จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับความเข้มข้นของสีในการผสมหมึกพิมพ์ ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่เปียกจะอยู่ในช่วง 2-15 ไมโครเมตร โดยจะพิจารณาจากเครื่องพิมพ์ ระบบการจ่ายหมึก และวัสดุใช้พิมพ์ประกอบด้วย ปกติควรจะผสมหมึกพิมพ์ให้มีความหนืดและความเข้มข้นสูงกว่าที่ต้องการจริงบนเครื่องพิมพ์ ทั้งนี้เพราะขณะพิมพ์อาจจะต้องมีการปรับตัวทำละลายเพื่อให้สมบัติที่เกี่ยวกับความหนืดของหมึกพิมพ์คงที่

2.2 พลาสติกสำหรับงานพิมพ์

พอลิโพรพิลีน (polypropylene) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้กันมากชนิดหนึ่ง [15] เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง ไม่มีกิ่งงอกิ่งสาขา พอลิโพรพิลีนจึงมีความเป็นผลึกสูงและมีจุดหลอมเหลวสูงถึงประมาณ 160-170 องศาเซลเซียส พอลิโพรพิลีนมีความหนาแน่นต่ำเพียงประมาณ 0.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงนับได้ว่าเป็นพลาสติกที่เบามาก นอกจากนี้ยังมีสมบัติเชิงกลดีมากเช่นมีความเหนียว ความแข็งแรงสูง พอลิโพรพิลีนจะไม่ละลายในสารละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเกิดการบวมตัวและละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ในทำนองเดียวกันกับพอลิเอทิลีน (polyethylene) นอกจากนี้ยังมีความคงทนต่อกรดและด่างได้ดีทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง ทนต่อความร้อนได้ระดับหนึ่ง

การใช้งานพอลิโพรพิลีนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของวัสดุของใช้ในครัว แผ่นฟิล์มห่อของและอาหาร ถุงใส่อาหารร้อน และบรรจุภัณฑ์พลาสติกอื่น ๆ บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีนจะทนต่อน้ำมัน ความร้อนและความเย็นได้ดี สามารถซีลหรือผนึกติดด้วยความร้อนได้ ป้องกันความชื้นได้ดีแต่ป้องกันออกซิเจนไม่ได้ ด้วยสมบัติข้างต้น ทำให้บรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกพอลิโพรพิลีนสามารถนำไปใช้งานในเตาไมโครเวฟได้ รวมถึงใช้บรรจุอาหารและขนมที่มีน้ำมันได้โดยไม่เกิดการอ่อนตัว

2.2.1 การปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกทางฟิสิกส์

การปรับสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์มีวัตถุประสงค์ในทางการพิมพ์ คือ เป็นการปรับให้ผิวพลาสติกเรียบพิมพ์และยึดติดได้ดี การปรับสภาพพื้นผิวนั้น สามารถกระทำได้หลายลักษณะ ขึ้นกับสภาพความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้ ได้แก่ การปรับสภาพพื้นผิวโดยทางฟิสิกส์ และการปรับสภาพพื้นผิวโดยทางเคมี

การปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกโดยทางฟิสิกส์สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 กรณี คือ

1. การปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิวทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ชั้นผิวของพอลิเมอร์
2. การปรับสภาพพื้นผิวโดยทำให้เกิดชั้นพื้นผิวเพิ่มเติมกับสภาพพื้นผิวเดิมของพอลิเมอร์

ในกรณีแรกโดยทั่วไปหมายถึง การทำให้เกิดอนุมูลที่มีพลังงานสูง ซึ่งได้แก่ อนุมูลอิสระ ไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้นในระดับอิเล็กทรอนิกส์ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้โดยการกระตุ้นโดยเปลวไฟหรือกระแสไฟฟ้า และวิธีการที่ใช้เปลวไฟมักจะเป็นที่นิยมใช้เพื่อปรับปรุงสภาพพื้นผิว ในขณะที่วิธีกระตุ้นโดยกระแสไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งรู้จักในชื่อว่า โคโรนา (corona) และพลาสมา (plasma) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง โดยทำให้เกิดไอออนของอากาศก่อน อย่างไรก็ตาม

ดีการกระตุ้นโดยวิธีต่าง ๆ อาจทำให้เกิดการสึกกร่อนหรือกัดกร่อนของพื้นผิวด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

ก. การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ เป็นวิธีที่นิยมใช้ปรับปรุงสภาพพื้นผิวดังกล่าวแล้วข้างต้น โดยจะทำให้เกิดหมู่มงกซ์ชั้นที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนบนพื้นผิวโดยเฉพาะกับพวกพอลิโออลิฟิน เช่น PE PP และนิยมใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเพื่อให้เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์หรือการทาสี อนุภาคที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่มีมักจะพบคือ อนุมูลอิสระ ไอออนและโมเลกุลในสภาวะกระตุ้น

อุปกรณ์สำหรับการกระตุ้นด้วยเปลวไฟค่อนข้างจะง่ายไม่ซับซ้อน ประกอบด้วยเปลวไฟที่ตั้งในตำแหน่งที่กำหนดระยะห่างจากชิ้นงานและทำให้เคลื่อนด้วยความเร็วที่ต้องการ

ตัวแปรที่มีผลต่อการกระตุ้นโดยวิธีนี้ประกอบด้วย องค์ประกอบที่ทำให้เกิดเปลวไฟ อุณหภูมิ ระยะห่างจากชิ้นงาน และความเร็วของการเคลื่อน ซึ่งโดยเฉพาะการกำหนดความเร็วของการเคลื่อนจะมีผลอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณหรือบริเวณพื้นผิวที่ถูกทำลายที่จะส่งผลถึงการยึดติด ดังนั้นจึงนิยมใช้การทำงานโดยเครื่องจักรมากที่สุด

พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมปรับปรุงสภาพพื้นผิวโดยวิธีนี้ ดังนั้นการศึกษาโดยส่วนใหญ่จะพยายามศึกษาหมู่มงกซ์ชั้นที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้น ซึ่งจะมีผลต่อการยึดติดและการพิมพ์ได้ต่อไป

การศึกษาสภาพพื้นผิวของพอลิโพรพิลีนที่ถูกกระตุ้นด้วยเปลวไฟโดยเครื่องมือต่าง ๆ เช่น เครื่องสเปคโตรบางประเภท พบว่าประกอบด้วยอนุมูลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ ไฮดรอกซิล คาร์บอนิล คาร์บอกซิล ซึ่งหมู่มงกซ์ชั้นเหล่านี้จะส่งผลถึงการปรับปรุงสภาพของการเกิดการเปียกและการยึดติดและจากการศึกษาพบว่าหมู่มงกซ์ที่อยู่บนสายโซ่หลักของพอลิโพรพิลีนมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายที่สุด

ข. การปรับสภาพพื้นผิวโดยวิธีโคโรนา การปรับสภาพพลังงานผิวพลาสติกบางชนิด ให้มีค่าพลังงานผิวสูงขึ้น พลังงานผิวของพลาสติกที่ใช้เป็นวัสดุพิมพ์จำนวนมากจนเกิดปัญหาการพิมพ์ไม่ติดหมึกหรือหมึกหลุดได้ง่าย จึงต้องมีการปรับให้มีค่าสูงขึ้น หมึกจะได้ยึดบนพลาสติกแน่นขึ้น วิธีการที่ใช้กันมากคือ โคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้หลักการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างหมึกพิมพ์หรือน้ำยาเคลือบกับพลาสติกที่เป็นวัสดุพิมพ์ ด้วยการเพิ่มพลังงานผิวและความสามารถในการทำให้เปียกของวัสดุ ความหนาประมาณ 0.125 นิ้ว

วิธีการโคโรนาดีสชาร์จคือ การให้ประจุไฟฟ้าพลังงานสูงแก่พื้นผิววัสดุ ทำให้พื้นผิววัสดุเกิดพลังงานไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอน หรืออะตอมที่มีประจุ หรือที่เรียกว่าอนุมูลอิสระ ภายในอุปกรณ์ที่จะให้โคโรนาสามารถมองเห็นโคโรนาซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าที่ต่อเนื่องได้ในลักษณะที่เป็น

ควันจาง ๆ มีสี เช่น สีม่วงแกมน้ำเงิน ผลจากการสร้างโคโรนา คือ เกิดออกซิเจนในสถานะกระตุ้น ในรูปต่าง ๆ เช่น อะตอมของออกซิเจน ก๊าซออกซิเจน และไอโซนที่ต่างก็มีพลังงานสูงขึ้นจากสถานะพื้น ออกซิเจนเหล่านี้จะไปเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลที่พื้นผิวและออกซิไดส์เพื่อให้เกิดสภาพขั้วที่พื้นผิวมากขึ้น ทำให้เพิ่มแรงยึดบริเวณพื้นผิวและทำให้ชั้นวัสดุบริเวณผิวที่ยึดกันแข็งแรงขึ้นและหนาขึ้น อย่างไรก็ตามควรระวังไอโซนที่ปล่อยออกมาจากระบบเพราะเป็นสารก่อมลพิษ

อุปกรณ์สร้างโคโรนาประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้ อิเล็กโทรด (electrode) ที่ต่อกับแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ช่องอากาศที่ถูกไอออไนซ์ (ionised) เพื่อสร้างโคโรนา วัสดุไดอิเล็กทริกที่จะช่วยรักษาสภาพประจุสูง และทรงกระบอกกลม (ground roll) สำหรับรองรับแผ่นวัสดุที่ต้องการปรับสภาพผิว

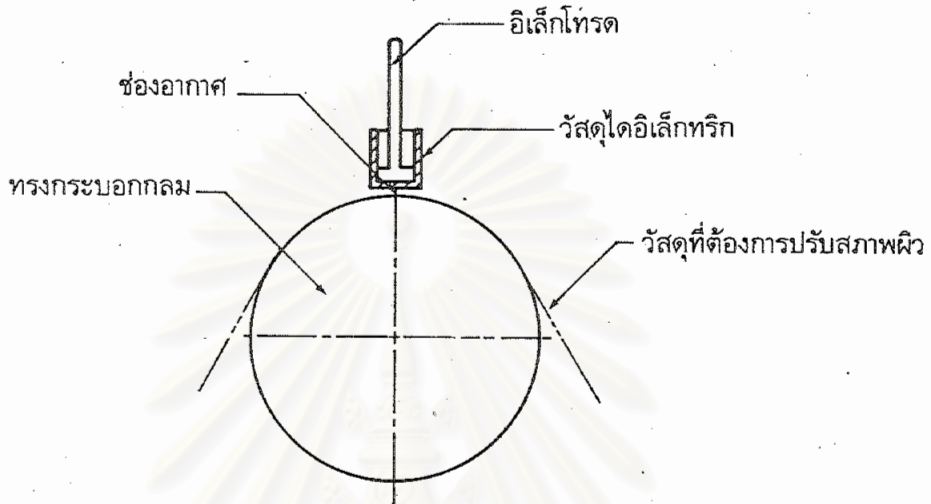
1) อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบทั่วไป มีลักษณะดังรูปที่ 2.14 คือมีอิเล็กโทรดเป็นแท่งอะลูมิเนียม และวัสดุไดอิเล็กทริกใช้วัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น ยางซิลิโคน (silicone) อีพอกซี (epoxy) เซรามิก (ceramic) ที่เชื่อมติดกับระนาบพื้นทรงกระบอก เพื่อให้แผ่นวัสดุเคลื่อนผ่านไปบนวัสดุไดอิเล็กทริกนี้ ช่องอากาศจะถูกไอออไนซ์เพื่อสร้างโคโรนา โดยให้หัวอิเล็กโทรดห่างจากผิววัสดุที่อยู่บนวัสดุไดอิเล็กทริกประมาณ $1/16$ นิ้ว



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบทั่วไป [14]

2) อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบที่พื้นทรงกระบอกไม่มีอะไรปกคลุม (bare roll) มีลักษณะคล้ายกับแบบทั่วไป ต่างกันตรงที่วัสดุไดอิเล็กทริกจะเชื่อมต่อกับอิเล็กโทรดเป็นแท่ง

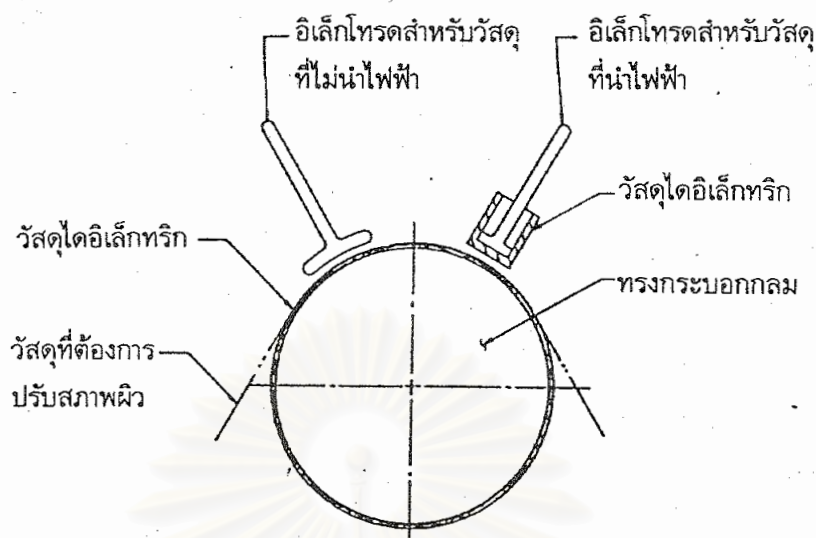
อะลูมิเนียม ในขณะที่พื้นผิวทรงกระบอกไม่มีอะโรปกคลุม ดังรูป 2.15 แบบนี้มีข้อดีตรงที่เหมาะสมกับวัสดุที่ป้อนเข้าเป็นม้วนและใช้ได้ทั้งกับวัสดุที่นำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบที่พื้นทรงกระบอกไม่มีอะโรปกคลุม [14]

3) อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบผสม จะมีลักษณะผสมผสานระหว่างอุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบทั่วไปกับอุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบที่พื้นทรงกระบอกไม่มีอะโรปกคลุม กล่าวคือ จะมีอิลเล็กโทรด 2 หัว แยกใช้หัวหนึ่งสำหรับการปรับสภาพผิวของวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าโดยมีลักษณะแบบเดียวกับอุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบทั่วไป และอีกหัวหนึ่งสำหรับวัสดุที่นำไฟฟ้า มีลักษณะแบบเดียวกับอุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบที่พื้นทรงกระบอกไม่มีอะโรปกคลุม ดังรูป 2.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.16 อุปกรณ์สร้างโคโรนาแบบผสม [14]

ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการปรับสภาพผิวโดยวิธีนี้ ได้แก่ ปริมาณความต่างศักย์จากสภาพแม่เหล็ก ความถี่การกระจายพลังงาน ลักษณะเฉพาะของเครื่อง ตัวอย่างเช่นช่องว่างระหว่างหัว probe และชิ้นงานรูปร่างของอิเล็กโทรดและยังขึ้นกับสภาพโคโรนาในระหว่างการปรับผิว เช่น ความชื้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงลักษณะทั่วไปที่เกิดขึ้น คือช่วงอายุการใช้งาน ของอนุมลอิสระที่เกิดขึ้นมักจะต่ำมาก เนื่องจากอนุมลอิสระเหล่านี้มักจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ อย่างไรก็ตามปริมาณหมูฟุ้งก่ที่ประกอบด้วยออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจะขึ้นกับระยะเวลาในการทำโคโรนา

ในกรณีที่ต้องการปรับเปลี่ยนสภาพของความสามารถในการยึดติด ก็สามารถทำได้โดยทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุ ซึ่งจะเป็นการทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในขณะที่ปรับสภาพผิวนั้น ๆ หรือในทางตรงข้าม การปรับสภาพผิวโดยวิธีโคโรนา จะช่วยเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลโดยการเกิดพอลิเมอร์

ค. การปรับสภาพผิวโดยวิธีพลาสมา การปรับสภาพผิวโดยวิธีพลาสมา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือการปรับสภาพผิวโดยวิธีพลาสมาแบบเย็นและแบบร้อน

ค.1 การปรับสภาพผิวโดยวิธีพลาสมาแบบเย็น เป็นการปรับโดยใช้ อุณหภูมิต่ำซึ่งมักจะต้องทำให้ความดันต่ำด้วย บริเวณที่เกิดไอออนไนส์และองค์ประกอบของไอออนไนส์ จะขึ้นกับชนิดของก๊าซที่ใช้ ซึ่งมักจะพบเป็นกลุ่มของโฟตอนที่มีพลังงานสูง ไอออน อนุมลอิสระและอนุมลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น การปรับสภาพด้วยวิธีนี้สามารถใช้ประโยชน์สำหรับการกระตุ้นพื้นผิวและทำให้เกิดหมูฟุ้งก่ที่ประกอบด้วยออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ในขณะเดียวกันยังสามารถ

ขณะเดียวกันยังสามารถใช้ในการกัดผิวโดยใช้กลุ่มอนุพลของก๊าซ (ตัวอย่างเช่น ฟลูออไรด์ใน พลาสมา CF₄ /O₂) หรือใช้ในการเคลือบผิวโดยการทำการเกิดพอลิเมอร์ด้วยพลาสมาเช่นในกรณีของโมโนเมอร์ที่มีฟลูออรีนหรือซิลิกอนเป็นองค์ประกอบ

เครื่องมือที่ใช้จะมีส่วนที่แตกต่างจากวิธีโคโรนา คือจะต้องมีตู้สุญญากาศและท่อพ่นก๊าซ เพื่อที่จะสามารถควบคุมความดันและองค์ประกอบของก๊าซให้เหมาะสม พร้อมกันนี้การต่อควบกับส่วนที่ให้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ก็สามารถทำได้ในหลายลักษณะ การแปรเปลี่ยนความถี่โดยจะเป็นกระแสดตรง กระแสสลับ หรือความถี่วิทยุ รูปร่างของอิเล็กโทรด ก็ขึ้นกับการใช้ประโยชน์สำหรับงานต่าง ๆ ชิ้นงานก็สามารถมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น แผ่นฟิล์ม หรือเป็นชั้น ๆ แยกจากกัน สำหรับตัวแปรต่าง ๆ จะได้แก่ ชิ้นงาน รูปร่างของตู้ ความดัน อัตราการไหลของก๊าซ และตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้า คือความถี่ กำลังไฟ เป็นต้น

การปรับสภาพผิวโดยวิธีพลาสมา จัดได้ว่าเป็นขั้นตอนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีของการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการทำให้เกิดการกัดด้วยพลาสมาของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มของซิลิกอน ซิลิกอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับสำหรับกลุ่มทางชีวภาพสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับเคมีของการเคลือบ

ในกรณีของอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น บรรจุก๊าซไฟเบอร์ ก็มีการใช้พลาสมาเช่นกัน แต่ยังมีการประยุกต์ใช้ไม่มากเท่าที่ควร เนื่องจากไม่คุ้มกับการลงทุน แต่ในปัจจุบันก็มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มการยึดติดโดยเฉพาะสีที่กันชนรถยนต์ โดยพบว่าในกรณีการใช้พลาสมาจะไม่จำเป็นต้องใช้สารไพรเมอร์ ซึ่งจะเป็นการลดการใช้สารเคมีและตัวทำลายที่มีพิษในกรณีดังกล่าวเป็นอย่างดี

พลาสมาที่กัดบนพื้นผิวพลาสติกประกอบด้วย ส่วนผสมของออกซิเจนและ CF₄/O₂ ซึ่งจะก่อให้เกิดอะตอมของออกซิเจนและฟลูออรีนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ แล้วทำให้เกิดหมู่ CO, CO₂, H₂O และไฮดรอกซิลของสารประกอบที่เกิดจากสารอินทรีย์และฟลูออรีน ในทางการค้ามักจะมีการเร่งการกัดโดยการเร่งไอออนไปชนกับพื้นผิวที่ต้องการปรับเปลี่ยน ซึ่งในขณะเดียวกันจะเป็นการปรับปรุงลักษณะของการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่แตกต่างกันในทิศทางต่างกัน ที่จะมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในทางอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับงานด้านการพิมพ์และการยึดติด วิธีปรับผิวพลาสมาแบบเย็น จะมีประโยชน์มากกว่า วิธีการโคโรนาเนื่องจากสามารถเลือกใช้กลุ่มก๊าซที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับพลาสติกที่จะปรับผิวทำให้หมึกติดดี

ค.2 การปรับสภาพผิวโดยวิธีพลาสมาแบบร้อน พลาสมาที่เกิดขึ้นจะเกิดในสภาพความดันบรรยากาศปกติ มักจะมีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 5,000 ถึง 10,000 องศาเซลวิน ดังนั้น

จึงมีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้กับโลหะสำหรับงานเคลือบผิวด้วยสารอนินทรีย์โดยส่วนใหญ่ ซึ่งงานที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์จะมีน้อยมาก เนื่องจากพอลิเมอร์จะเกิดการเสื่อมสลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง

ง. การปรับสภาพพื้นผิวโดยวิธีอื่น นอกจากการปรับสภาพพื้นผิวตามที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถใช้วิธีปรับสภาพพื้นผิววิธีอื่นได้อีกเพื่อให้ผิวของพลาสติกสามารถรับน้ำหมึกได้ และเหมาะสมกับกระบวนการพิมพ์

ง.1. การปรับสภาพพื้นผิวด้วยอนุภาค อนุภาคที่ใช้ในการปรับพื้นผิว อาจจะเป็นอนุภาคของแสงหรืออนุภาคอิเล็กทรอนิกส์

1) การใช้อนุภาคแสง แสงที่นิยมใช้ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยจะมีการกำหนดบริเวณของพลาสติกที่ต้องการจะฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยวางชั้นแผ่นฟิล์มพลาสติกหรือพอลิเมอร์ไว้ภายใต้แหล่งกำเนิดของรังสี รังสีนี้จะกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยง การเคลือบผิว

เลเซอร์เป็นอนุภาคแสงอีกชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการปรับสภาพพื้นผิว การประยุกต์ใช้สามารถทำได้หลายลักษณะมากกว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต เช่น การเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ การยึดติดและการทำความสะอาดพื้นผิว

2) การใช้ลำอิเล็กตรอน โดยมากลำอิเล็กตรอนที่ใช้จะมีพลังงานอยู่ในช่วงมากกว่า 50 ถึง 1,000 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ส่วนใหญ่ใช้กับพอลิเมอร์สำหรับการทำเคเบิลท่อ และเพื่อทำให้สารเคลือบผิวเกิดการสุกตัว

ง.2 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยโลหะ เป็นการทำให้ละอองไอของโลหะเคลือบอยู่บนพื้นผิวของพอลิเมอร์ เช่น การเคลือบอะลูมิเนียม บนผิวของแผ่นฟิล์มพลาสติกสำหรับการประยุกต์งานทางไฟฟ้า ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าหรือใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นตัวกันและเพิ่มความสวยงาม

ง.3 การปรับสภาพพื้นผิวด้วยไอออน มี 2 วิธี ดังนี้

1) การใช้ลำไอออน ส่วนใหญ่การใช้ลำไอออนเพื่อปรับพื้นผิวมีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพื้นผิววัสดุและทำให้แตกตัวเป็นไอออนเคลือบอยู่บนพื้นผิวนั้น

2) วิธีสปัตเตอร์ริง (sputtering) เป็นการทำให้เกิดไอออนจากแหล่งกำเนิดแสงแล้วเร่งให้ไอออนวิ่งเข้าชนผิวของพอลิเมอร์ อะตอมของไอออนดังกล่าวจะจับอยู่บนผิว นิยมใช้เมื่อต้องการเคลือบผิวด้วยสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถใช้ในรูปของของเหลวหรือ

ในรูปละอองพอลิเมอร์ที่จะปรับสภาพพื้นผิวได้ วิธีนี้พลาสติกที่ใช้ต้องสามารถทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นได้ เช่น PET PC พอลิเอไมด์

2.2.2 การปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกทางเคมี

การปรับสภาพพื้นผิวโดยทางเคมี มีหลายวิธี ดังนี้

ก. การปรับสภาพพื้นผิวโดยทำให้เปียก เป็นเทคนิคเริ่มต้นที่ใช้ในการทำให้เกิดการปรับปรุงสภาพพื้นผิวในพอลิเมอร์ ซึ่งสะดวกและทำได้ง่าย เนื่องจากสารเคมีที่ใช้อยู่ในรูปของของเหลวโดยเฉพาะกรดโครมิก ซึ่งนิยมใช้เพื่อออกซิไดส์พื้นผิวของพอลิโออลิฟิน และในกรณีของพอลิเมอร์อื่น ๆ ก็สามารถใช้วิธีคล้ายคลึงกัน เพียงแต่เปลี่ยนชนิดของของเหลวหรือสารละลายให้เหมาะสมที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างของเหลวกับพอลิเมอร์ได้

จุดประสงค์ของการเปลี่ยนสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์โดยส่วนใหญ่ คือ

1. ต้องการควบคุมหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเพื่อสามารถประยุกต์ใช้ต่อไป
2. ต้องการควบคุมบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา
3. ต้องการรักษารูปทรงของชิ้นงานในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวโดยทำให้เปียกนี้ คือในขณะที่ทำการปรับนี้จะต้องอธิบายโครงสร้างที่เกิดขึ้นด้วยทฤษฎีทางเคมีและฟิสิกส์ เนื่องจากในขณะที่ทำการปรับด้วยการทำให้เปียกจะมีการละลายและการกัดเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน และการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวก็ขึ้นกับกลไกของการปรับสภาพในแต่ละระบบที่ใช้ซึ่งจะแตกต่างกันไป ในอีกกรณีคือการปรับสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์ ความสม่ำเสมอของการปรับจะแตกต่างกันไป ถ้าในแต่ละบริเวณมีส่วนที่เป็นออสันฐานหรือผลึกต่างกัน พอลิโพรพิลีนจะเกิดการกัดสำหรับปรับสภาพพื้นผิวได้ง่ายกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

ข. การปรับสภาพพื้นผิวของฟลูออโรพอลิเมอร์ ฟลูออโรพอลิเมอร์ เช่น เทฟลอน มีสมบัติเฉพาะตัว คือมีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงนิยมใช้สำหรับการเคลือบผิวเพื่อป้องกันพื้นผิวที่ต้องการปกป้องหรือเพื่อลดการยึดติดของสิ่งต่าง ๆ เนื่องจากว่าฟลูออโรพอลิเมอร์มีแรงดึงผิวต่ำ ดังนั้นจึงเป็นพอลิเมอร์ที่เฉื่อยต่อการยึดติด

การปรับปรุงสภาพผิวของฟลูออโรพอลิเมอร์สามารถทำให้เกิดบริเวณที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งจากการศึกษาโดยลำดับมีเคมีหลายชนิดที่ใช้ เช่น สารละลายแอมโมเนีย หรือสารประกอบเชิงซ้อนของแพลทินัมในไกลคอลไดอัลคิลอีเทอร์ ซึ่งในกรณีหลังนี้จะนิยมใช้มากกว่ากรณีแรกเนื่องจากสามารถทำให้เกิดการกัดได้เร็ว ภายในระยะเวลาไม่กี่นาที ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับการทำให้พันธะระหว่างคาร์บอน-ฟลูออรีนของพอลิเมอร์แตกออก แล้วทำให้เกิดสาร

โซเดียมฟลูออไรด์ และขณะเดียวกันอนุมูลอิสระที่เกิดบนคาร์บอนอะตอมจะทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัวบนสายโซ่ของพอลิเมอร์ซึ่งพันธะคู่ที่เกิดขึ้นจะเป็นจุดอ่อนที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี

การปรับสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์โดยการใช้สารละลายช่วยออกซิไดส์ เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบชุบโลหะบนพอลิเมอร์ สารเคมีที่นิยมได้แก่ สารละลายอิ่มตัวของโครเมียมไตรออกไซด์ในกรดซัลฟูริก โดยพบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสสามารถเกิดปฏิกิริยาและเกิดการกัดได้อย่างดี

ค.การปรับสภาพพื้นผิวด้วยการไฮโดรไลซิส ไฮโดรไลซิสเป็นการสลายให้พลาสติกมีการรับน้ำดีขึ้น เพิ่มการยึดติดดีขึ้น กลุ่มพอลิเมอร์ตัวอย่างที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ PET พอลิเอไมด์ และเคฟลาร์(kevlar)

เมื่อ PET ทำปฏิกิริยาด้วยโซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อน จะทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีสมบัติชอบน้ำมากขึ้น ดังนั้นจะทำให้สมบัติที่เกี่ยวข้องกับไอน้ำสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน

ในกรณีของพอลิเอไมด์ เมื่อไฮโดรไลซิสแล้วจะมีสมบัติที่น่าสนใจ คือทำหน้าที่เป็นฉนวนได้ เนื่องจากการเพิ่มความสามารถในการยึดติดของพอลิเอไมด์ให้สูงขึ้นได้

ในกรณีของเคฟลาร์ การปรับปรุงโครงสร้างโดยการไฮโดรไลซิสนี้ก็เพื่อทำให้เกิดหมู่อะมิโนซึ่งจะไวต่อปฏิกิริยามากขึ้น ดังนั้นสภาพพื้นผิวของเคฟลาร์ จะมีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ คือทั้งกรดและเบส ถ้ามีการใช้สารเคมีอีพอกไซด์ที่เป็นได้ทั้งกรดและเบส จะทำให้สามารถเพิ่มความแข็งแรงของการยึดติดได้มากขึ้น

ง.การปรับสภาพพื้นผิวโดยการกราฟต์ (surface grafting) เป็นการปรับสภาพพื้นผิวโดยการเพิ่มโมเลกุลของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งไปบนพอลิเมอร์หรือแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ต้องการปรับผิว ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่ใช้อนุมูลอิสระในการเกิดพอลิเมอร์ การเปลี่ยนสภาพพื้นผิวโดยวิธีนี้จะสามารถควบคุมโครงสร้าง หมู่ฟังก์ชัน ได้ดีกว่าการปรับสภาพพื้นผิวโดยวิธีเคมีแบบอื่น ๆ

ลักษณะของกราฟต์ที่เกิดขึ้นมีได้หลายแบบ ลักษณะของกราฟต์แบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นกับวิธีที่ใช้ในการกราฟต์ โมเลกุลกราฟต์เหล่านี้จะเป็นตัวควบคุมสมบัติของพอลิเมอร์ที่จะใช้พิมพ์ต่อไป

การทำให้เกิดการกราฟต์โดยส่วนใหญ่ ต้องคำนึงถึงลักษณะและสภาพโดยธรรมชาติของพื้นผิวของพอลิเมอร์ นั้นว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้หรือไม่ ดังนั้นการกราฟต์จึงมีเทคนิคที่เหมาะสมแตกต่างกันไป

ถ้าบนผิวของพอลิเมอร์ไม่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่แล้ว จำเป็นต้องสร้างให้มีหมู่ฟังก์ชันก่อนเพื่อกระตุ้นให้สามารถเกิดปฏิกิริยากราฟต์ต่อไป การกระตุ้นทำได้หลายวิธี เช่นการฉายรังสี ซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระได้

ในกรณีที่พอลิเมอร์มีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้สามารถกระตุ้นได้ด้วยซีเรียม เพื่อให้พอลิเมอร์หรือแผ่นฟิล์มพลาสติกเกิดอนุมูลอิสระ ถ้าพอลิเมอร์ที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่จะกระตุ้นให้เกิดความไวต่อปฏิกิริยาก็สามารถใช้สารเคมีที่เหมาะสม ได้แก่ การใช้สารละลายของโครเมียมออกไซด์และอะซิติคแอนไฮดไรด์หรือโดยการฉายรังสี เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้เพื่อให้เกิดหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของพอลิโพรพิลีน จากนั้นจึงทำปฏิกิริยากับซีเรียมต่อไป

การใช้แหล่งพลังงานมาช่วยกระตุ้นเพื่อปรับสภาพพื้นผิว เช่น รังสีแกมมา และอิเล็กตรอน ซึ่งมีอำนาจในการทะลุทะลวง อาจมีผลข้างเคียงต่าง ๆ เกิดขึ้นได้ เช่น นอกจากจะเกิดการกราฟต์และการเชื่อมโยงระหว่างพอลิเมอร์แล้ว อาจเกิดการแตกหักของโซ่พอลิเมอร์ในแผ่นฟิล์มในแผ่นพลาสติกได้

2.3 การยึดติดของพื้นผิว

การยึดติด (adhesion) คือสภาพที่พื้นผิว 2 พื้นผิวมายึดเกาะกันแน่นด้วยแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวไม่ว่าจะเป็นแรงทางเคมีหรือแรงเชิงกล ประเภทแรงดึงดูดทางกายภาพที่มีบทบาทมากเกี่ยวกับการยึดติด คือแรงแวนเดอร์วาลส์ กระบวนการยึดติดจะเกี่ยวข้องกับแรงดึงผิว พลังงานผิวแรงดึงระหว่างผิวและงานยึดติด (work of adhesion, W_a) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมจากภาคผนวก ค

เมื่อมีแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น แรงระหว่างพื้นผิวจะลดลง พื้นผิวจะเข้ามาชิดกันมากขึ้น ดังนั้น $\gamma_{sl} < \gamma_{sv} + \gamma_{lv}$ ยิ่งแรงระหว่างพื้นผิวลดลงมากเท่าใด งานยึดติดจะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

ดูเปร (Dupre) เสนอสมการงานยึดติดไว้หลายสมการให้เลือกใช้ โดยอาศัยหลักการที่ว่างานที่ใช้ในการแยกพื้นผิวออกจากกันเพื่อให้ได้พื้นผิวใหม่นั้นมีค่าเท่ากับงานยึดติดพื้นผิวนั้น ตัวอย่างสมการเหล่านี้ ได้แก่

$$W_a = \gamma_{lv} + \gamma_{sv} + \gamma_{sl} \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

$$W_a = \gamma_{lv}(1 + \cos\theta) \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

$$W_a = 2(\gamma_{sv} \gamma_{lv})^{1/2} \quad (\text{สมการที่ 2.7})$$

การยึดติดจะมีประสิทธิภาพเพียงไรขึ้นกับพันธะเคมีของวัสดุและแรงดึงดูดทางกายภาพ ความสามารถของสารยึดติดในการแทรกตัวสารยึดติดเข้าไปในช่องว่างบริเวณพื้นผิวขึ้นกับลักษณะ การกระจายตัวของสารยึดติด การดูดซับ (adsorption) และการซึมซาบ (penetration) ประการสุดท้าย ขึ้นกับการดูดแนบและการดึงดูดที่เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์และเกี่ยวข้องกับแรงดึงผิว พลังงานผิว และแรงดึงระหว่างผิว หากการยึดติดไม่มีประสิทธิภาพ จะเกิดการแยกชั้นของเนื้อวัสดุซึ่งอาจเป็น การแยกในส่วนของเหลวหรือแยกตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิว หรือแยกในส่วนของของแข็ง

การเคลือบวัสดุผิวเรียบด้วยของเหลว เช่น การเคลือบผิวโลหะ เมื่อเคลือบแล้วการแยก พื้นผิวทั้งสองออกจากกันจะทำได้ยาก ต้องใช้แรงเฉือนที่มากพอที่จะเอาชนะแรงยึดระหว่าง โมเลกุลของวัสดุ แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวจะไม่เพียงพอที่จะแยกพื้นผิวทั้งสองออก จากกันได้ ตรงกันข้ามกับวัสดุที่มีพื้นผิวหยาบ เช่น กระดาษ จะให้การยึดติดที่ไม่ดีเท่า เพราะหมึก หรือน้ำยาเคลือบจะสัมผัสพื้นผิวรองรับไม่สม่ำเสมอและทั่วถึง ทำให้แรงดึงดูระหว่างอนุภาค น้อยลง

หมึกพิมพ์ น้ำยาเคลือบ และสารยึดติดที่อาจมีลักษณะเป็นสารละลายหรือคอลลอยด์แบบ ต่าง ๆ มีค่าแรงดึงผิวต่าง ๆ กัน เช่น หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำมีค่าแรงดึงผิวประมาณ 32 มิลลิ นิวตันต่อเมตร แรงดึงผวยิ่งต่ำจะยิ่งทำให้เกิดการยึดติดได้ดี

สำหรับพลังงานผิวของวัสดุนั้นยังมีค่ามาก จะยิ่งทำให้เกิดการยึดติดได้ดี โดยที่การยึดติด เกิดจากการสัมผัสกันอย่างใกล้ชิดของโมเลกุลระหว่างพื้นผิววัสดุที่ต้องการให้ยึดติดกันด้วยแรงดึง ระหว่างผิว ซึ่งในขั้นต้นถ้าสารยึดติดเป็นของเหลวจะต้องเกิดการเปียกที่สมบูรณ์กับวัสดุก่อน แล้ว จึงตามมาด้วยกระบวนการยึดติด การยึดติดที่ดีจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อแรงดึงผิวของสารยึดติดจะต้องต่ำ กว่าแรงดึงผิววิกฤตหรือพลังงานผิวของวัสดุอย่างน้อย 10 มิลลินิวตันต่อเมตร โดยทั่วไปประมาณ 20 มิลลินิวตันต่อเมตร

ตัวอย่างค่าแรงดึงผิวของหมึกพิมพ์ น้ำยาเคลือบ และสารยึดติดที่อาจมีลักษณะเป็น สารละลายหรือคอลลอยด์แบบต่าง ๆ มีรายงานดังตารางที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าแรงดึงผิวและพลังงานผิวของวัสดุทางการพิมพ์ประเภทต่าง ๆ [17]

ประเภทวัสดุทางการพิมพ์	แรงดึงผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร)	พลังงานผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร)
หมึกพิมพ์ออฟเซต	ประมาณ 30-40	-
หมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำ	ประมาณ 32	-
พอลิเอทิลีน	-	29
พอลิโพรพิลีน	-	29
พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลต	-	43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง

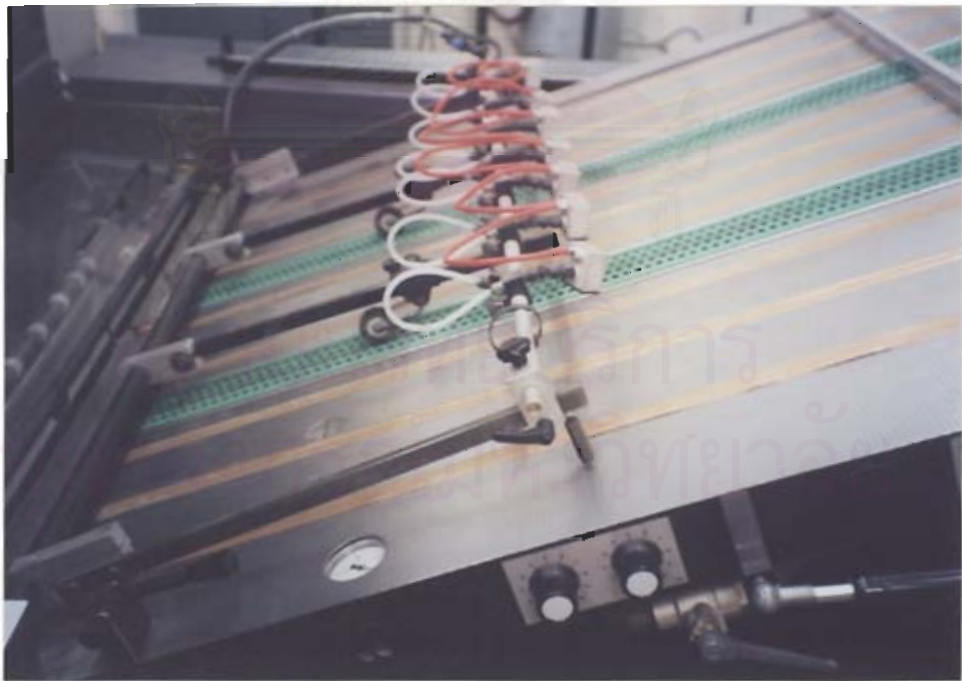
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องพิมพ์ออฟเซต Roland รุ่น 700 ที่มีหน่วยพิมพ์เพล็กโซกราฟิ มีรายละเอียดของเครื่องคือ

ก.ขนาดวัสดุพิมพ์	สูงสุด 740x1040 มิลลิเมตร
	ต่ำสุด 340x480 มิลลิเมตร
ข.พื้นที่พิมพ์	715x1020 มิลลิเมตร
ค.ความหนาวัสดุพิมพ์	สูงสุด 1.0 มิลลิเมตร
	ต่ำสุด 0.04 มิลลิเมตร

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ คือ

1.1 หน่วยป้อน ซึ่งมีระบบลมดูดสูญญากาศในการป้อนวัสดุพิมพ์เข้าเครื่อง และมีอุปกรณ์สำหรับกำจัดไฟฟ้าสถิตย์ก่อนจะเข้าสู่พิมพ์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์สำหรับกำจัดไฟฟ้าสถิตย์

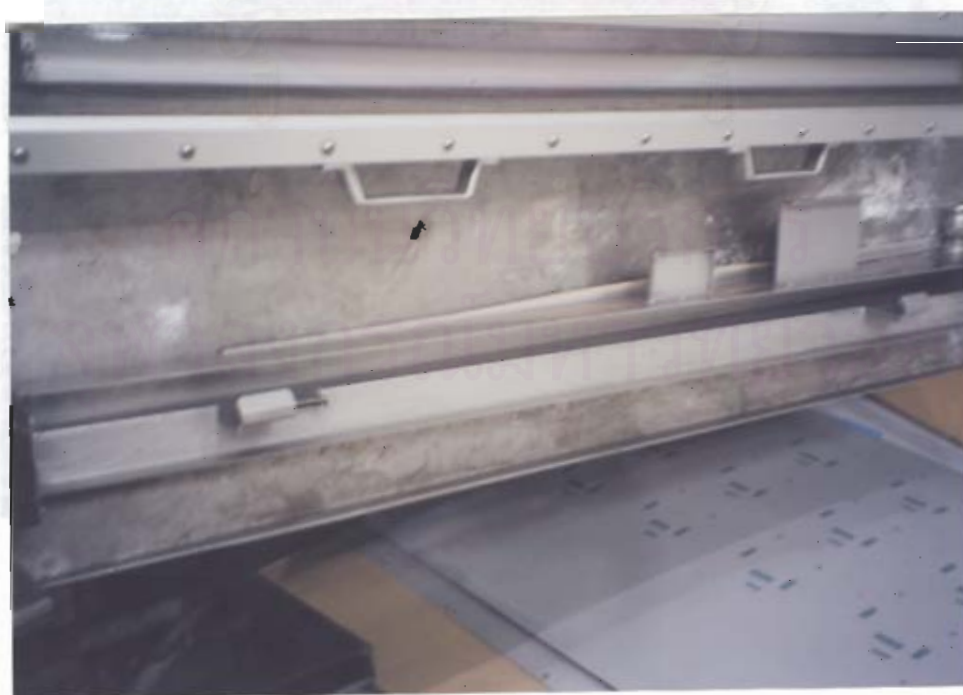
1.2 หน่วยพิมพ์ มีโครงสร้างภายนอกดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของหน่วยพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี

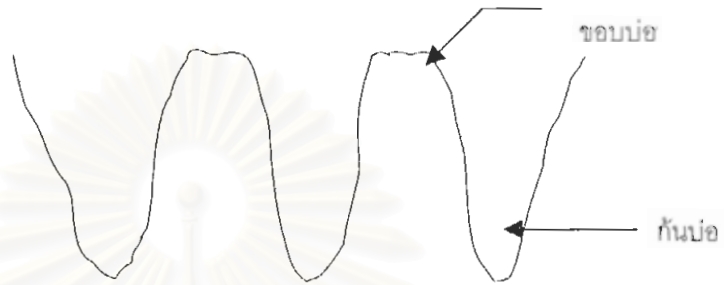
หน่วยพิมพ์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ คือ

1.2.1 Chamber doctor blade ทำหน้าที่ในการเก็บหมึกและปล่อยไปยังลูกกลิ้งอะนิล๊อกซ์ (anilox roller) ดังรูปที่ 3.3 โดยมีท่อสำหรับนำหมึกจากถังหมึกเข้าไปในรางและท่อสำหรับปล่อยหมึกไหลกลับไปยังถัง



รูปที่ 3.3 ลักษณะของ Chamber doctor blade

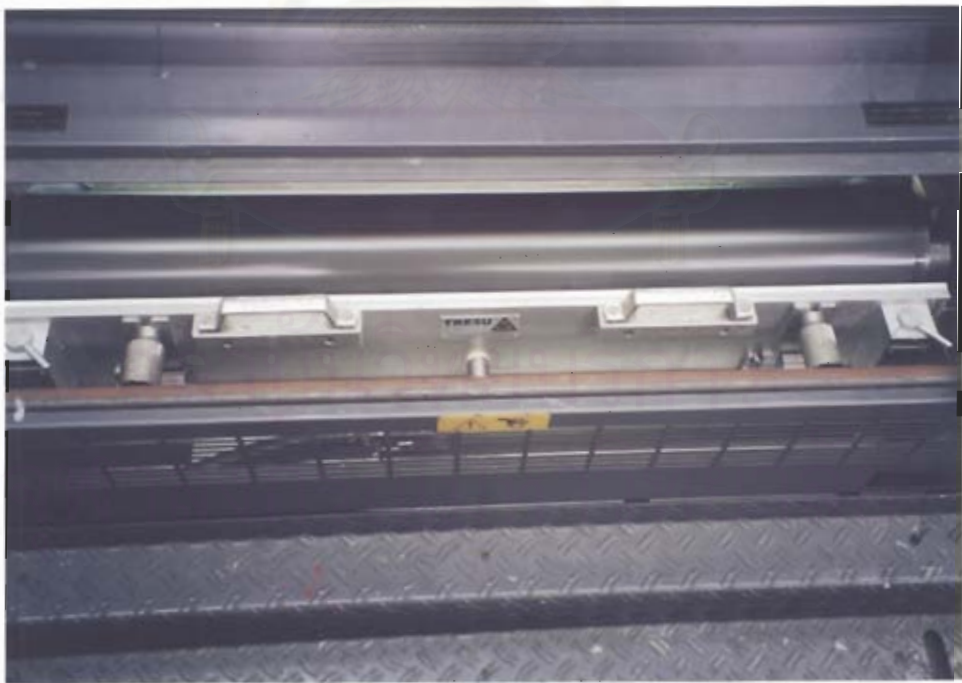
1.2.2 ลูกกลิ้งอะนิล็อกซ์ (anilox roller) ทำหน้าที่ในการถ่ายหมึกเพื่อส่งไปยังโม่แม่พิมพ์ ขนาดลูกกลิ้งอะนิล็อกซ์ที่ใช้ คือ 80 เส้นต่อตารางนิ้ว บรรจุหมึกด้วยปริมาตร 13 มิลลิลิตรต่อเซ็นติเมตร ทำด้วยเซรามิก รูปร่างเมื่อส่องดูด้วยกล้องขยายขนาด 100 เท่า จะเห็นมีลักษณะเป็นกรวยก้นลึก ดังรูป ที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะบ่อหมึกของลูกกลิ้งอะนิล็อกซ์

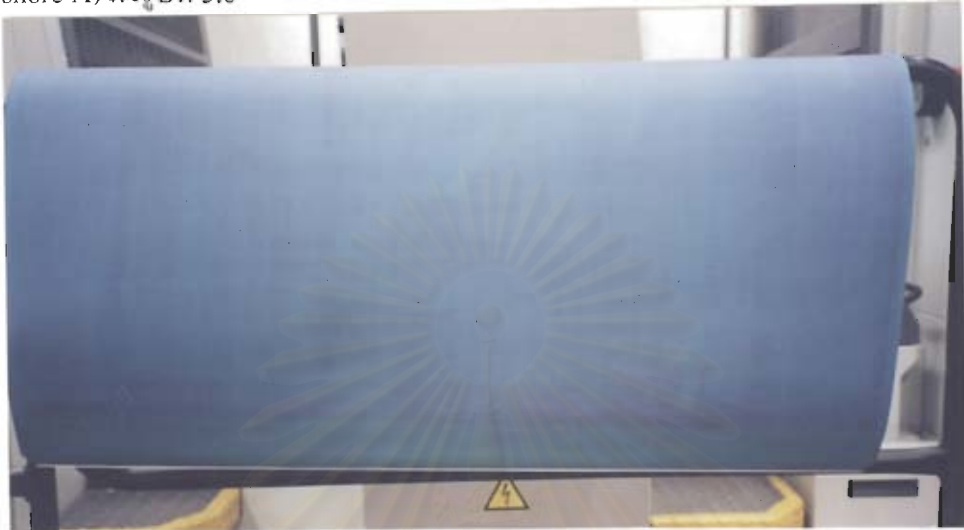
ด้วยรูปร่างลักษณะที่มีก้นลึกเกินไปจึงทำให้ถ่ายโอนหมึกออกไปได้เพียงร้อยละ 50 เท่า

นั้น



รูปที่ 3.5 การติดตั้งลูกกลิ้งอะนิล็อกซ์ในหน่วยพิมพ์

1.2.3 โม่แม่พิมพ์ ในการทดลองนี้ใช้ผ้ายางซีท้อ Vulcan รุ่น 714 plus ทำหน้าที่ในการรับหมึกจากลูกกลิ้งอะนาล็อกซ์และส่งต่อไปยังแผ่นพิมพ์ คุณสมบัติของผ้ายางชนิดนี้ คือเป็นผ้ายางฟองอากาศ 3 ชั้น มีความหนา 1.69 ± 0.02 mm สีฟ้าและมีความแข็งที่ 79 องศาชอร์เอ (79° shore A) ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะของผ้ายางที่ใช้เป็นแม่พิมพ์

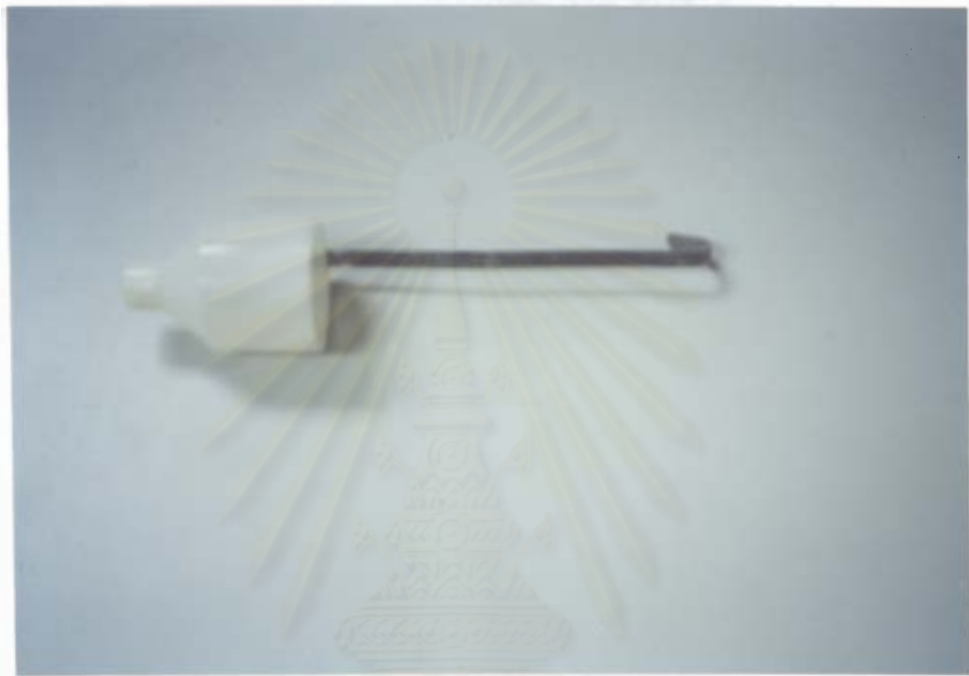
1.3 หน่วยทำแห้ง ทำหน้าที่ในการให้ความร้อนกับแผ่นพอลิโพรพิลีนที่ผ่านการพิมพ์มาแล้ว โดยสามารถเลือกการทำงานได้จากหน้าจอควบคุม ดังรูปที่ 3.7 โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ได้คือ 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.7 หน้าจอคำสั่งสำหรับป้อนค่าการให้ความร้อน

2. ถ้วย DIN CUP เบอร์ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่ก้นถ้วย 4 มิลลิเมตร และบรรจุ ปริมาตร 105 มิลลิลิตร (ดังรูปที่ 3.8)

ใช้ในการวัดความหนืดของหมึกพิมพ์ โดยหน่วยที่ได้เป็นวินาที วิธีการวัดคือจุ่มถ้วยลง ไปในหมึก ค่อย ๆ ยกถ้วยขึ้นมาโดยให้หมึกที่บรรจุอยู่ยังคงเต็มถึงปากถ้วย แล้วยกถ้วยขึ้นจากหมึก เริ่มจับเวลาที่หมึกไหลออกจากรูที่ก้นถ้วยจนหมึกขาดสายจึงบันทึกเวลา

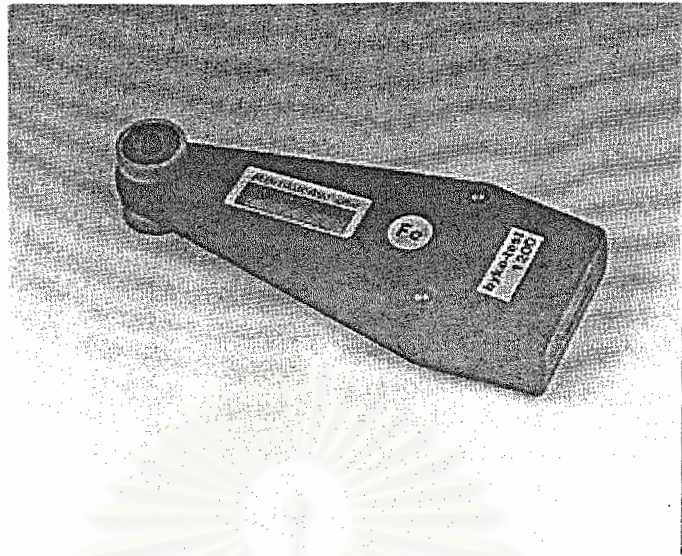


รูปที่ 3.8 ลักษณะของถ้วยดิน (DIN CUP) เบอร์ 4

3. นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อไซโก้

4. เครื่องวัดความหนา ดังรูปที่ 3.9

นำแผ่นพิมพ์ที่ได้ไปวัดความหนาของฟิล์มหมึก 5 จุด คือ มุมทั้งสี่ด้านและตรง กลางแผ่น ภาวะละ 5 แผ่น เป็นจำนวนทั้งหมด 45 แผ่น (รายละเอียดตามภาคผนวก ฉ)



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนา

5.เครื่องวัดการซัดดู ดังรูปที่ 3.10

ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2X7 นิ้ว จากมุมทั้งสี่และตรงกลางแผ่นตัวอย่าง นำไปวัดการซัดดูแบบ wet rub โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (รายละเอียดตามภาคผนวก ช)



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดการซัดดู

6. เครื่องวัดสี ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. แผ่นพอลิโพรพิลีน

ใช้แผ่นพอลิโพรพิลีนขนาด 27" x 31"หนา 0.3 มิลลิเมตร สีขาวทึบและผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีโคโรนาแบบทั่วไป มีค่าพลังงานผิวประมาณ 38 มิลลิวัตต์ต่อเมตร จากบริษัท มิตรชียา จำกัด ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ลักษณะแผ่นพอลิโพรพิลีนที่ใช้

2. หมึกพิมพ์

ใช้หมึกพิมพ์ฟลักโซกราฟที่เขื่อนน้ำจากบริษัท โคทส์(ไทยแลนด์) จำกัด รหัส TPE 701 สีเขียว ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หมึกพิมพ์ที่ใช้ในการทดลองและถักบรรจุ

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการพิมพ์

1. นำแผ่นพอลิโพรพิลีนตัดขนาด 20" x 24" ใส่ที่หน่วยปั๊ม
2. ต่อด้ายส่งหมึกเข้าหน่วยพิมพ์และสายรับหมึกออกจากหน่วยพิมพ์
3. ปรับตั้งเครื่องพิมพ์

3.1 การปรับตั้งส่วนป้อนวัสดุพิมพ์ โดยมีการปรับจากข้าง จากหน้าและก้นหลัง ให้พอดีกับขนาดของแผ่นวัสดุพิมพ์ จากนั้นจะต้องปรับสมดุลที่ใช้ส่งวัสดุพิมพ์ไปยังส่วนพิมพ์

3.2 การปรับตั้งการจ่ายหมึกบนลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์ เป็นการปรับตั้งใบปาดหมึกบนลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์ให้มีระยะการสัมผัสที่เหมาะสม

3.3 การปรับตั้งแรงกดระหว่างลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์กับ โม่แม่พิมพ์ การปรับตั้งให้แรงกดลูกกลิ้งแอนิลีน็อกซ์และ โม่แม่พิมพ์ขนานกัน เพื่อให้สามารถจ่ายหมึกได้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของโม่แม่พิมพ์

3.4 การปรับตั้งแรงกดระหว่างโม่แม่พิมพ์กับ โม่กดพิมพ์ โดยการปรับให้โม่กดพิมพ์อยู่ห่างจากโม่แม่พิมพ์เท่ากับความหนาของแม่พิมพ์

4. ตั้งระดับความร้อนให้อยู่ที่ร้อยละ 50
5. พิมพ์ด้วยความเร็ว 5,000 7,000 และ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง เป็นเวลา 10 นาที

6. ทำการทดลองซ้ำ 5 โดยเปลี่ยนหมึกที่มีความหนืด 45 และ 50 วินาที (วัดด้วย DIN CUP เบอร์ 4)
7. ตั้งระดับความร้อนที่ร้อยละ 100 ทำการทดลองซ้ำ 5-6
8. เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าการขจัดและความแตกต่างสี โดยเก็บทุก ๆ 50 แผ่น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

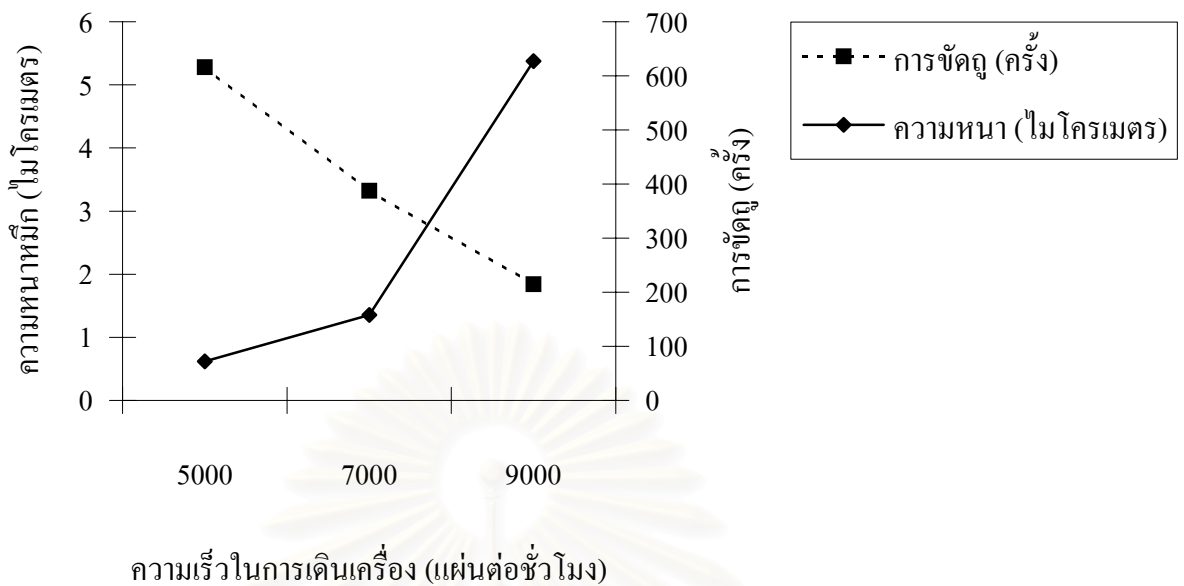
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 คุณภาพงานพิมพ์ เมื่อพิจารณาถึงการยึดติดของหมึกและความแตกต่างสี (หมายเหตุ ความแตกต่างสีวัดเทียบกับเฉดที่ต้องการ)

ความหนืด (วินาที)	ความเร็วในการเดินเครื่อง (แผ่นต่อชั่วโมง)	ความหนา (ไมโครเมตร)	การขาด (ครั้ง)	ความแตกต่างสี
35	5000	5	72	1.46
	7000	3	158	1.61
	9000	2	627	1.88
40	5000	7	80	4.61
	7000	2	24	0.95
	9000	6	12	1.18
50	5000	6	205	2.47
	7000	9	24	4.94
	9000	7	79	7.63

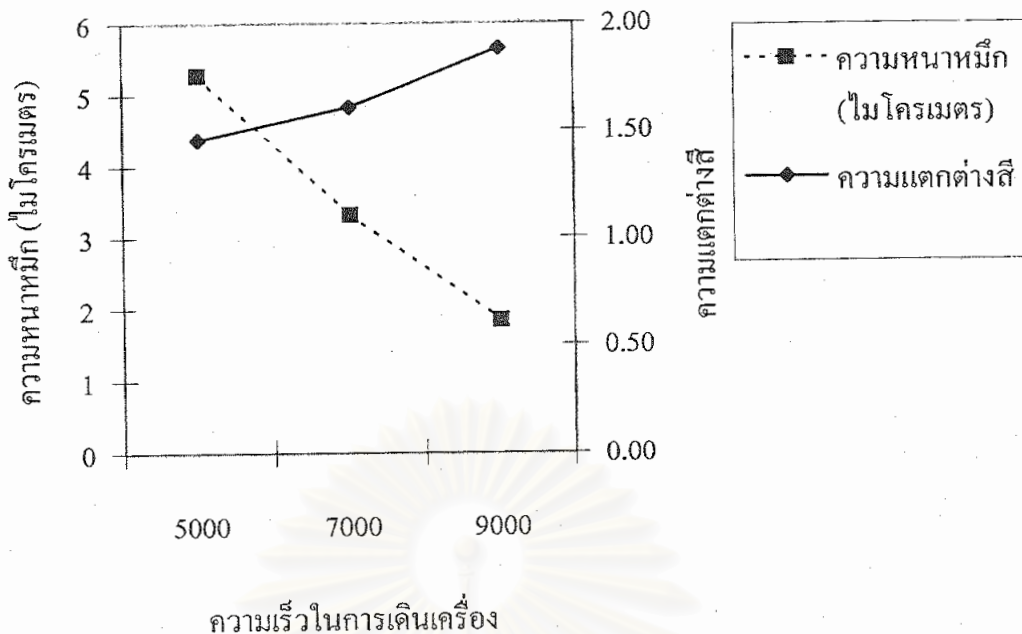


รูปที่ 4.1 ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและการขจัด

(ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 35 วินาที และ ให้ความร้อนในการทำแห้งร้อยละ 100)

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงผลของความเร็วในการเดินเครื่องพบว่า การเดินเครื่องที่ความเร็ว 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง หมึกจะมีความหนา 5 ไมโครเมตร และเมื่อเดินเครื่องด้วยความเร็วสูงขึ้นไปที่ 7,000 และ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง ความหนาหมึกจะลดลงเหลือ 3 และ 2 ไมโครเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความขจัด พบว่าความหนาของหมึกมีความสัมพันธ์กับการขจัดในลักษณะแปรผกผันกัน นั่นคือ ที่ความหนาหมึก 5 ไมโครเมตร การขจัดเท่ากับ 72 ครั้ง หมึกจึงจะหลุด แต่เมื่อความหนาหมึกลดลงเหลือ 3 และ 2 ไมโครเมตร การขจัดต้องใช้จำนวนครั้งมากขึ้นเป็น 158 และ 627 ครั้ง ตามลำดับ

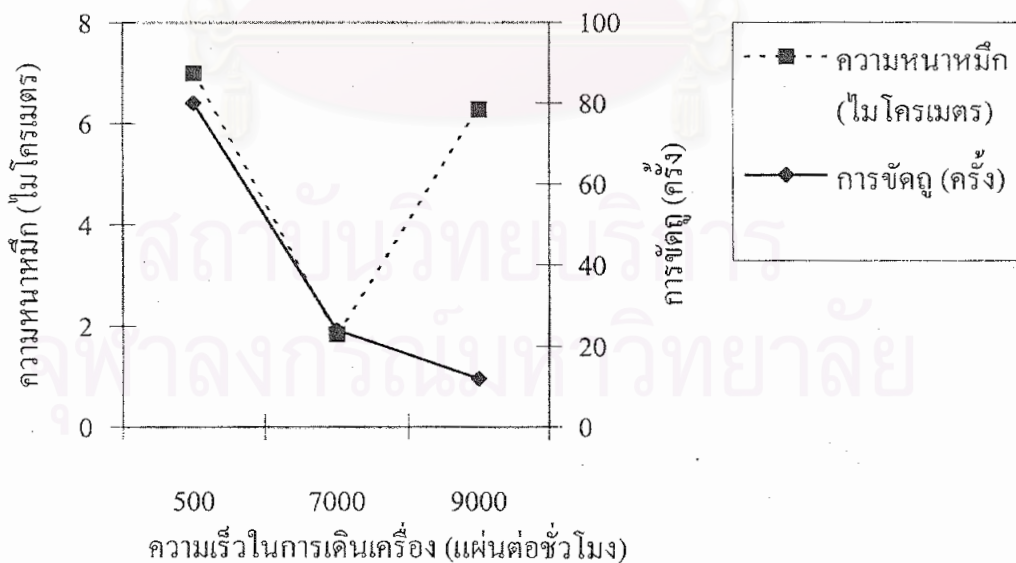


รูปที่ 4.2 ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความแตกต่างสี

(ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 35 วินาที และ ให้ความร้อนในการทำแห้งร้อยละ 100)

จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงผลของความเร็วที่มีต่อความหนาและความแตกต่างสี

พบว่าความหนาหมึกมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างสี ในลักษณะแปรผกผันกัน นั่นคือ ที่ความหนาหมึก 5 ไมโครเมตร ความแตกต่างสีจะเป็น 1.46 แต่เมื่อความหนาหมึกลดลงเหลือ 3 และ 2 ไมโครเมตร ความแตกต่างสีจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.61 และ 1.88 ตามลำดับ

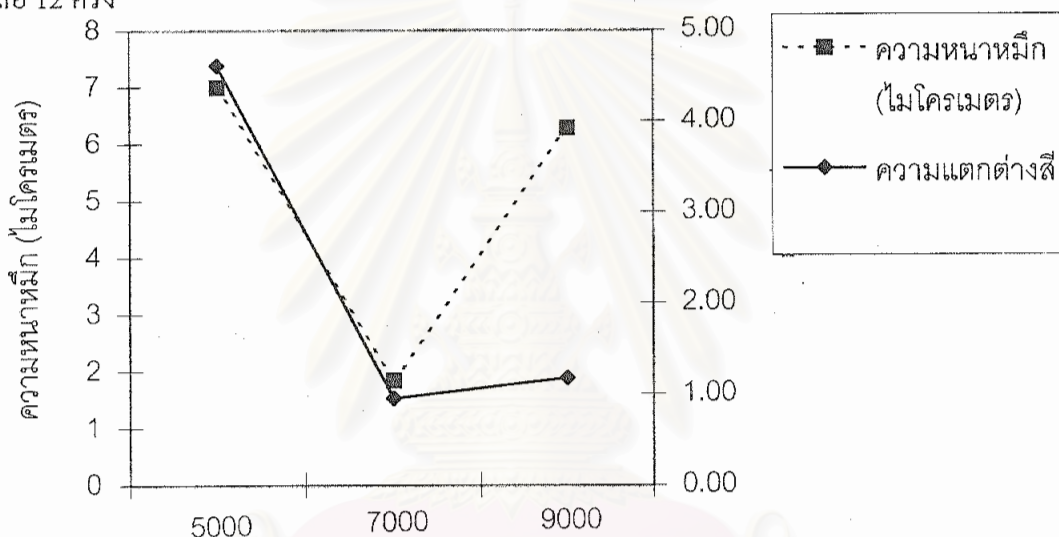


รูปที่ 4.3 ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและการขจัด

(ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 40วินาที และ ให้ความร้อนในการทำแห้งร้อยละ 100)

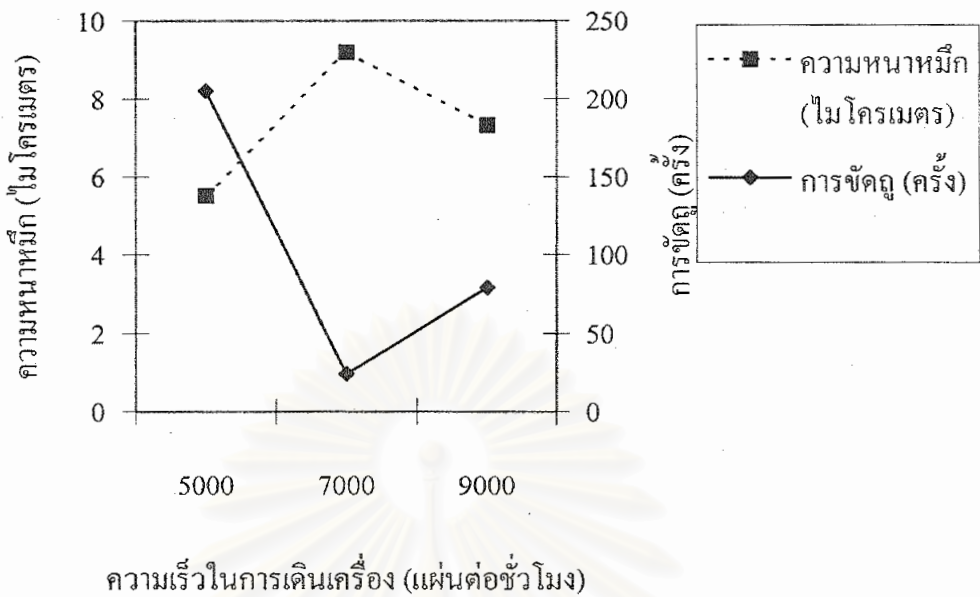
จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงผลของความเร็วในการเดินเครื่องพบว่า การเดินเครื่องที่ความเร็ว 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง หมึกจะมีความหนา 7 ไมโครเมตร และเมื่อเดินเครื่องด้วยความเร็วสูงขึ้นไปที่ 7,000 และ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง ความหนาหมึกจะลดลงไปเหลือ 2 ไมโครเมตร แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 6 ไมโครเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความขจัดดู พบว่าความหนาของหมึกมีความสัมพันธ์กับการขจัดดูในลักษณะแปรตามกันในช่วงความเร็ว 5,000 ถึง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และจะแปรผกผันกัน ในช่วงความเร็วที่ 7,000 ถึง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง นั่นคือ ที่ความหนาหมึก 7 ไมโครเมตร การขจัดดูเท่ากับ 80 ครั้ง หมึกจึงจะหลุด แต่เมื่อความหนาหมึกลดลงไปเหลือ 2 ไมโครเมตร การขจัดดูต้องใช้จำนวนครั้ง 24 และเมื่อความหนาหมึกเพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็น 6 ไมโครเมตร แต่การขจัดดูยังคงน้อยลงเหลือ 12 ครั้ง



รูปที่ 4.4 ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและความแตกต่างสี (ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 40 วินาที และให้ความร้อนในการทำแห้งร้อยละ 100)

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงผลของความเร็วที่มีต่อความหนาและความแตกต่างสี พบว่าความหนาหมึกมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างสี ในลักษณะคล้ายกับความสัมพันธ์ของความหนาหมึกกับการขจัดดู คือ แปรตามกันในช่วงแรกแล้วจึงแปรผกผันกัน เมื่อความเร็วในการเดินเครื่องสูงขึ้น นั่นคือ ที่ความหนาหมึก 7 ไมโครเมตร ความแตกต่างสีจะเป็น 4.61 แต่เมื่อความหนาหมึกลดลง 2 ไมโครเมตร แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 6 ไมโครเมตร ความแตกต่างสีจะลดลงเหลือ 0.95 แล้วจึงเพิ่มขึ้นเป็น 1.18

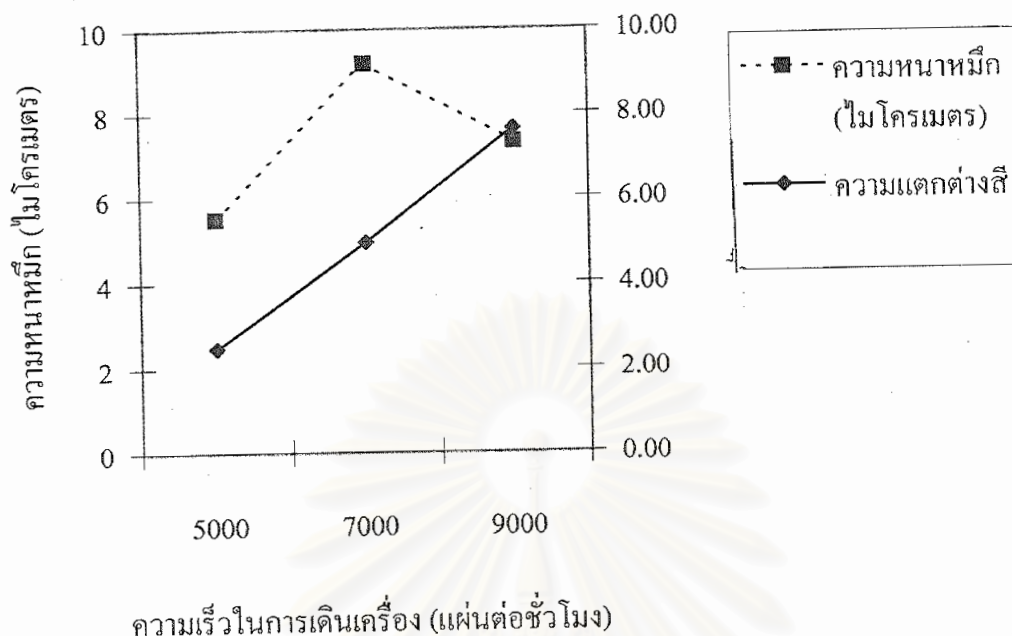


รูปที่ 4.5 ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาและการขจัด

(ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 50 วินาที และให้ความร้อนในการทำงานแห่งร้อยละ 100)

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงผลของความเร็วในการเดินเครื่อง พบว่าการเดินเครื่องที่ความเร็ว 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง หมึกจะมีความหนา 6 ไมโครเมตร และเมื่อเดินเครื่องด้วยความเร็วสูงขึ้นไปที่ 7,000 และ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง ความหนาหมึกเพิ่มขึ้นเป็น 9 ไมโครเมตร แล้วจะลดลงไปเหลือ 7 ไมโครเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความขจัด พบว่าความหนาของหมึกมีความสัมพันธ์กับการขจัดในลักษณะแปรผกผันกันในทุกช่วงความเร็ว นั่นคือ ที่ความหนาหมึก 6 ไมโครเมตร การขจัดเท่ากับ 205 ครั้ง หมึกจึงจะหลุด แต่เมื่อความหนาหมึกเพิ่มขึ้นเป็น 9 ไมโครเมตร การขจัดต้องใช้จำนวนครั้งน้อยลงเหลือ 24 ครั้ง และเมื่อความหนาลดลงอีกครั้งเหลือ 7 ไมโครเมตร การขจัดก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 79 ครั้ง

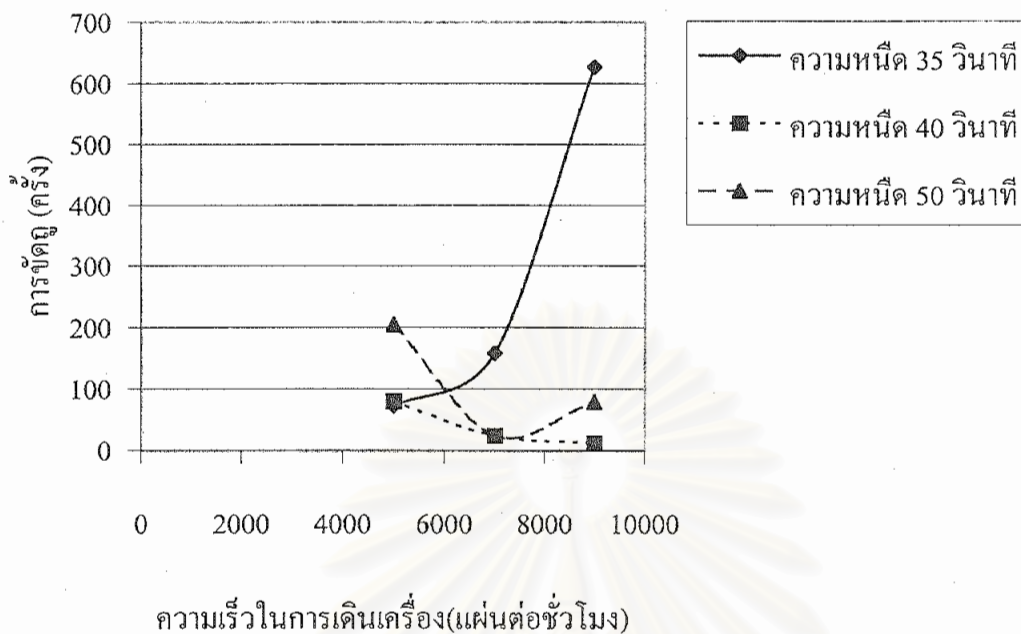


รูปที่ 4.6 ผลของความเร็วในการเดินเครื่องต่อความหนาความแตกต่างสี

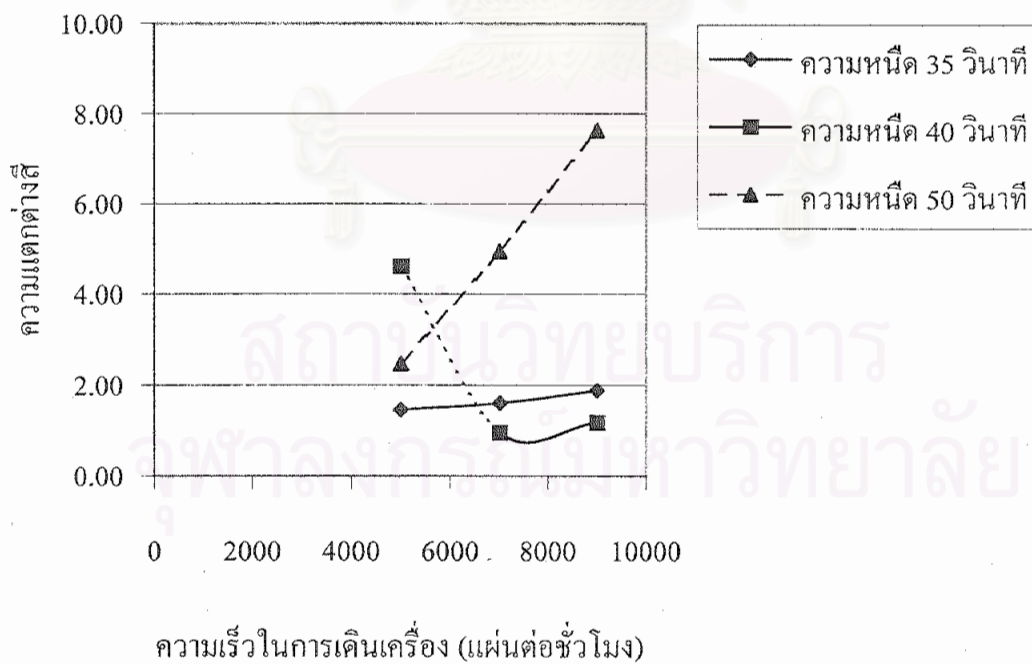
(ภาวะทางการพิมพ์ ด้วยหมึกที่มีความหนืด 35 วินาที และ ให้ความร้อนในการทำแห้งร้อยละ 100)

จากรูปที่ 4.6 แสดงถึงผลของความเร็วที่มีต่อความหนาและความแตกต่างสี พบว่าความหนาหมึกมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างสี ในลักษณะแปรตามกันในช่วงความเร็ว 5,000 ถึง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง นั่นคือ ที่ความหนาหมึกเพิ่มจาก 6 ไมโครเมตร เป็น 9 ไมโครเมตร ความแตกต่างสีจะเพิ่มจาก 2.47 เป็น 4.94 แต่ในช่วงความเร็ว 7,000 ถึง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง ความหนาหมึกลดลงเหลือ 7 ไมโครเมตร ความแตกต่างสียังเพิ่มขึ้นเป็น 7.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 จำนวนในการขจัดหญ้า (ครั้ง) ของหมักที่มีความหนีดต่างกัน เมื่อพิมพ์ด้วยสภาวะทางการพิมพ์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.8 ความแตกต่างสีของหมักที่มีความหนีดต่างกัน เมื่อพิมพ์ด้วยสภาวะทางการพิมพ์ต่าง ๆ

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่ร้อยละ 0 และร้อยละ 50 ไม่เพียงพอต่อการทำแห้งจึงทำให้แผ่นพิมพ์เมื่อวางซ้อน ๆ กันแล้ว หมึกจากแผ่นล่างที่ยังแห้งตัวไม่ติดจะไปติดด้านหลังของอีกแผ่น ทำให้เกิดปัญหาการจับหลัง ดังนั้นแผ่นพิมพ์นั้นจึงนำมาทดสอบผลการพิมพ์ไม่ได้ เนื่องจากชั้นหมึกได้มีการเปลี่ยนค่าไป ในการทดลองนี้ค่าความร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่ร้อยละ 50 คิดเทียบเป็นอุณหภูมิของอากาศได้เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งเมื่อใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำจะอยู่ที่ประมาณ 204.4 องศาเซลเซียส [16] ดังนั้นความร้อนในการทำแห้งที่ระดับร้อยละ 50 จึงไม่เพียงพอต่อการทำให้หมึกที่ใช้ในการทดลองพิมพ์แห้งตัวได้ ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส

การพิจารณาถึงการยึดติดของหมึกจะศึกษาผลจากทนต่อการขัดถู หมึกที่มีการยึดติดที่ดีจะใช้เวลาในการขัดถูนานกว่าหมึกที่มีการยึดติดไม่ดี จากการทดลองพบว่าการยึดติดของหมึกจะสัมพันธ์กับความหนาของชั้นหมึก โดยชั้นหมึกที่หนาจะให้การยึดเกาะที่ไม่ดี จำนวนครั้งในการขัดถูจะน้อย ส่วนหมึกที่บางจะขัดถูได้ยากกว่า จากที่มีผู้รายงานว่าความหนาของหมึกจะขึ้นกับความหนืด เมื่อความหนืดสูงขึ้นจะให้ความหนามากขึ้น โดยจากรูปที่ 4.7 จะพบว่าความหนืดที่ 35 วินาทีจะยึดติดได้ดีที่สุด

ตามเส้นกราฟของความหนืดระดับ 35 วินาที เมื่อเดินเครื่องด้วยความเร็วมากขึ้น ความหนืดหมึกจะค่อย ๆ ลดลง ทำให้ชั้นหมึกบางลง ซึ่งปรากฏการณ์คาดว่านี้เป็นผลมาจากการแตกตัวของอนุภาคของอะคริลิกซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่ออะคริลิกแตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ จึงทำให้หมึกไหลได้ดีขึ้น

เส้นกราฟที่ความหนืดระดับ 40 วินาที ค่อย ๆ ลดลง แสดงถึงการขัดถูหมึกออกได้ง่ายขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเครื่อง เนื่องมาจากหมึกหนืดขึ้นจึงให้ชั้นหมึกที่หนาขึ้น ที่ความหนืดระดับนี้ คาดว่ารูปร่างของอนุภาคจะส่งผลต่อความหนืดมากที่สุด โดยอนุภาคอะคริลิกที่ใช้เป็นแบบทรงกลมและมีขั้วสูง เพื่อเพิ่มการยึดติดตามแรงวันเดอร์วาลส์ ความเป็นขั้วสูงทำให้อะคริลิกเข้ามารวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผลให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้จะมีมากกว่าเมื่อใช้หมึกที่ระดับ 35 วินาที เนื่องจากความหนาแน่นของอะคริลิกมีมากกว่า

ส่วนที่ความหนืดระดับ 50 วินาที ซึ่งเป็นความหนืดที่สูงที่สุด ปรากฏการณ์เมื่อเดินเครื่องด้วยความเร็วต่ำ ๆ คือ 5,000 และ 7,000 แผ่นต่อชั่วโมงจะคล้ายกันที่ระดับความหนืด 40 วินาที อันเป็นผลมาจากความเป็นขั้วของอะคริลิก แต่จะให้เส้นกราฟที่ชันกว่า เพราะปริมาณอะคริลิกมีความหนาแน่นมากกว่า การเปลี่ยนแปลงของความหนืดจึงสูงกว่า แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเครื่องไปที่ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง ความหนืดหมึกกลับลดลง ทำให้ความหนาหมึกน้อยและการขัดถูจึงสูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเหมือนกับกรณีการไหลแบบแคสชัน เกิดจากปริมาณของอนุภาคของอะคริลิกมีความหนาแน่นมาก

สำหรับการวิเคราะห์ผลของความแตกต่างสี เมื่อเทียบกับตัวอย่างแล้ว พบว่าความหนาของหมึกพิมพ์ นอกจากจะสัมพันธ์กับการยึดติดของหมึกแล้ว ยังมีผลต่อความแตกต่างสีด้วย โดยชั้นหมึกที่หนาหรือบางเกินไปก็จะให้ค่าความแตกต่างสี

ที่ความหนึ่ระดับ 35 วินาที พบว่าให้ความแตกต่างสี เมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเครื่องน้อยที่สุด ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากว่าปรากฏการณ์ของการแตกตัวของหมึกมีผลน้อย ความหนึ่ที่เปลี่ยนแปลงไปจึงน้อยไปด้วย ทำให้ความหนาของชั้นหมึกไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนที่ความหนึ่ระดับ 40 และ 50 วินาที ให้ค่าความแตกต่างที่ห่างกันมาก ดังนั้นจึงไม่ควรนำมาใช้ในการพิมพ์ เพราะจะควบคุมเฉดสีได้ยาก

เมื่อพิจารณาถึงผลของความเร็วที่มีต่อคุณภาพงานพิมพ์ พบว่าที่ความหนึ่ 35 วินาที ความเร็วที่ให้การยึดติดคือ 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง แต่ที่ความเร็วระดับนี้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างสีมากที่สุด ที่ความหนึ่ 40 วินาที ความเร็วที่ให้การยึดติดคือ 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง แต่ความแตกต่างสีมีมาก และความหนึ่ 50 วินาที ความเร็วที่ให้การยึดติดที่ดีคือ 5,000 เช่นกันกับที่ความหนึ่ 40 วินาที และที่ความเร็วระดับนี้ยังให้ค่าความแตกต่างสีน้อยที่สุดด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว ความหนึ่ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 35 วินาทีและเดินเครื่องด้วยความเร็ว 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง

ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองได้คือการปรับสภาพผิวที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งหน้า ซึ่งทำให้บางบริเวณเกิดการยึดติดได้ดีเมื่อค่าพลังงานผิวสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับผิวหน้าของแผ่นพอลิโพรพิลีนถ้าตำแหน่งที่ให้ทดสอบคุณภาพมีความขรุขระมากกว่าก็จะทำให้การยึดติดได้ดียิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ผลการทดลองเกี่ยวกับผลของภาวะในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนแผ่นพอลิโพรพิลีนต่อคุณภาพชิ้นงานที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความหนืดของหมึกพิมพ์ มีผลต่อการขาดุด ถ้าหมึกพิมพ์มีความหนืดสูงเกินไปจะทำให้ได้ชิ้นฟิล์มหมึกที่หนา จึงมีผลให้การขาดุดได้จำนวนครั้งน้อย แต่ถ้าหมึกมีความหนืดน้อยจะทำให้ผลการขาดุดที่ดีกว่า

2. ผลของระดับการทำแห้ง มีผลต่อการขาดุดและเจดสีที่ไม่ชัดเจนมากนัก โดยพบว่าระดับการทำแห้งจะสัมพันธ์กับความเร็วในการเดินเครื่อง ถ้าการทำแห้งไม่ดีจะทำให้เกิดปัญหาการซับหลังได้

3. ความเร็วในการเดินเครื่องจะส่งผลต่อการถ่ายโอนหมึก ถ้าเดินเครื่องด้วยความเร็วสูงจะทำให้ได้ชิ้นหมึกที่หนาและทำให้ความทนทานในการขาดุดน้อยลง

จากการทดลองพบว่าภาวะที่ให้ผลในการทดลองที่ดีที่สุดคือความหนืดหมึก 35 วินาทีและความเร็วในการเดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง โดยให้ความร้อนในการทำแห้งร้อยละ 100

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาถึงผลของพลังงานผิวพอลิโพรพิลีนที่มีต่อการยึดติดของหมึกพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ เพราะการปรับสภาพผิววัสดุใช้พิมพ์ให้มีพลังงานผิวที่เหมาะสมจะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น

รายการอ้างอิง

1. Siconofi, F. N., Flexography Principles and Practices. 4th ed., New York, 1991
2. Leach, R.H. and Pierce, R.J. The Printing Ink Manual. 5th ed., London, 1992
3. Reese, D. E. "The Challenges of Printing Plastic Packaging Films." FLEXO. Volume 18, no.3, New York , 1993
4. Dawson, J. A Manual for Flexographic Printing, S.I.T.A. Ltd., 1990.
5. Patton, T.C. Pigment Handbook, A Wiley-Interscience Publication, U.S.A.,1973
6. Woof, C., A Manual for Flexographic Inks, S.I.T.A. Ltd., U.K. 1989
7. Foundation of Flexographic Technical Association (FFTA) Flexography : Principles and Practice.. 4th ed. New York , 1992
8. Decelles, R. "Drying High-Holdout Substrated" FLEXO. Vol.18, no.7, New York :,1993
9. Bezigian T. The Effect of Corona Discharge onto Polymer Films Proceeding (99) TAPPI Polymer, Lamination & Coating Conference Book 1, 1991.
10. Chick S. Visco-elasticity Carri-Med training document. Dorking, 1990.
11. Comyn J. Contact Angles and Adhesive Bonding Int. J. Adhesion and Adhesives vol. 12 no.3 July 1992.
12. กำธร สติกรกุล หนังสือและการพิมพ์ รามคำแหง กรุงเทพมหานคร
13. กำธร สติกรกุล โอวาท นิตินันท์ ประกาศ พรทวิ พึ่งรัศมีและอื่น ๆ ระบบการพิมพ์ ในเอกสารการสอนรายวิชาการพิมพ์ทั่วไป หน่วยที่ 1-8 พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 2536 หน้า 78-87
14. กัลยาณี เปรมเพ็ชร ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ประเสริฐ คุณคำชู พลาสติก เอกสารการสอนรายวิชาวัสดุทางการพิมพ์ หน่วยที่ 11 พิมพ์ครั้งที่1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 2539 หน้า 137-169
15. ชีระ ตั้งวิชาชาญ สี การรับรู้ และการวัดสี เอกสารการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพิมพ์ หน่วยที่ 11 พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 2539 หน้า 261-342
16. วรณา สนั่นพานิชกุล สุพจน์ ลิมปิโรจนฤทธิ์ ผกามาศ ผจญแก้ว ชวาล คุร์พิพัฒน์ เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี เอกสารการสอนรายวิชาการกระบวนการพิมพ์พื้นนูนและพื้นราบ หน่วยที่ 4 พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 2540 หน้า 174-235

17. ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ เคมีพื้นผิวและกระแสวิทยาสำหรับการพิมพ์ เอกสารการสอนรายวิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพิมพ์ หน่วยที่ 7 พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช 2539 หน้า 344-401



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตาราง ก.1 จำนวนครั้งในการขจัดมูลเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	80	75	70	65	80
2	70	82	76	50	62
3	80	72	85	75	77
4	66	56	62	65	59
5	75	81	77	79	80
เฉลี่ย			72		

ตาราง ก.2 จำนวนครั้งในการขจัดมูลเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	160	152	147	160	92
2	242	150	192	78	210
3	218	245	159	192	174
4	94	89	79	121	140
5	155	149	135	250	166
เฉลี่ย			158		

ตาราง ก.3 จำนวนครั้งในการขจัดมูลเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	560	742	660	554	242
2	544	495	550	480	445
3	660	428	480	540	575
4	1200	490	580	690	840
5	920	870	795	690	644
เฉลี่ย			627		

ตาราง ก.4 จำนวนครั้งในการขจัดมูลเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 40วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	90	85	88	70	64
2	65	77	64	80	75
3	82	45	49	69	87
4	95	92	85	88	79
5	102	89	80	105	94
เฉลี่ย			80		

ตาราง ก.5 จำนวนครั้งในการขจัดมูลเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 40 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	35	29	25	33	40
2	22	19	20	17	20
3	30	32	25	29	22
4	17	19	19	21	25
5	20	25	24	23	18
เฉลี่ย			24		

ตาราง ก.6 จำนวนครั้งในการขจัดคู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 40 วินาที

(ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	9	11	8	12	15
2	21	17	18	15	19
3	10	12	19	14	18
4	8	6	7	5	11
5	9	9	10	8	13
เฉลี่ย			12		

ตาราง ก.7 จำนวนครั้งในการขจัดคู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 50 วินาที

(ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	224	250	198	217	210
2	189	192	190	200	206
3	210	205	204	195	194
4	200	204	198	210	182
5	174	225	230	220	190
เฉลี่ย			205		

ตาราง ก.8 จำนวนครั้งในการขจัดคู เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 50 วินาที

(ภาวะการพิมพ์ เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	19	17	25	23	29
2	21	30	25	24	20
3	22	21	24	29	19
4	18	22	27	22	20
5	29	27	25	24	28
เฉลี่ย			24		

ตาราง ก.9 จำนวนครั้งในการขจัด เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 50 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	69	80	75	74	70
2	80	85	82	94	85
3	85	79	75	70	75
4	79	82	75	76	80
5	82	79	78	70	85
เฉลี่ย			79		

ตาราง ก.10 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	1.22	0.98	0.74	2.12	0.69
2	0.78	1.43	1.29	1.42	1.54
3	0.95	0.84	2.42	1.59	1.49
4	0.87	1.56	1.66	2.42	0.45
5	1.54	1.49	2.15	2.94	1.87
เฉลี่ย			1.458		

ตาราง ก.11 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที
(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	1.86	0.56	2.07	1.47	1.78
2	1.47	1.21	1.36	1.21	1.48
3	1.48	1.73	1.7	1.07	2.03
4	2.13	1.32	1.56	2.18	1.54
5	1.94	1.54	1.36	2.7	1.44
เฉลี่ย			1.6076		

ตาราง ก.12 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที

(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	0.77	0.58	1.67	2.57	2.24
2	2.03	2.12	2.21	3.46	1.25
3	2.75	1.49	3.55	4.32	2.37
4	0.96	1.1	2.41	1.79	1.43
5	1.07	0.89	1.57	1.28	1.14
เฉลี่ย			1.8808		

ตาราง ก.13 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 40 วินาที

(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	3.9	4.6	4.1	4.22	5.12
2	4.14	5.53	5.21	5.49	4.16
3	5.89	5.88	4.06	3.86	3.4
4	6.55	6.11	4.63	4	2.82
5	4.37	5.31	3.99	3.53	4.4
เฉลี่ย			4.6108		

ตาราง ก.14 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 40 วินาที

(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	0.49	0.47	0.46	1.01	1.49
2	1.07	0.37	0.84	0.22	0.85
3	0.7	0.75	1.1	0.45	0.74
4	1.25	0.24	2.65	0.63	1.53
5	0.74	0.72	0.91	1.14	2.98
เฉลี่ย			0.952		

ตาราง ก.15 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 40 วินาที

(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	0.97	0.98	1.63	1.03	1.16
2	1.27	1.26	1.15	0.81	1.24
3	1.62	1.16	0.89	0.91	1.61
4	0.84	1.63	1.67	1.09	1.25
5	1.27	1.77	0.92	0.7	0.58
เฉลี่ย			1.1764		

ตาราง ก.16 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 50 วินาที

(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 5,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	3.86	3.2	2.84	2.6	2.1
2	3.23	2.9	2.39	2.05	2.66
3	1.56	2.54	2.3	1.52	1.81
4	2.27	2.27	2.1	1.55	2.28
5	3.11	2.97	3.46	2.05	2.09
เฉลี่ย			2.4684		

ตาราง ก.17 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 50 วินาที

(ภาวะการพิมพ์เดินเครื่อง 7,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	4.29	2.87	3.42	4.82	5.43
2	6.45	5.45	6.85	4.22	3.53
3	4.02	6.22	4.85	5.27	4.93
4	5.02	5.49	6.12	4.87	4.53
5	4.33	4.82	5.34	6.12	4.29
เฉลี่ย			4.942		

ตาราง ก.18 ความแตกต่างสี เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกที่ความหนาในระดับ 35 วินาที

(ภาวะการพิมพ์ เติมน้ำมันเครื่อง 9,000 แผ่นต่อชั่วโมง และให้ความร้อนร้อยละ 100)

แผ่นที่			ค่าที่วัดได้		
1	8.15	8.43	9.56	9.41	7.71
2	7.07	6.36	9.18	8.48	6.82
3	7.34	5.28	9.26	8.38	5.67
4	8.21	7.7	8.52	7.5	6.19
5	8.38	5.46	8.97	7.3	5.31
เฉลี่ย			7.6256		



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

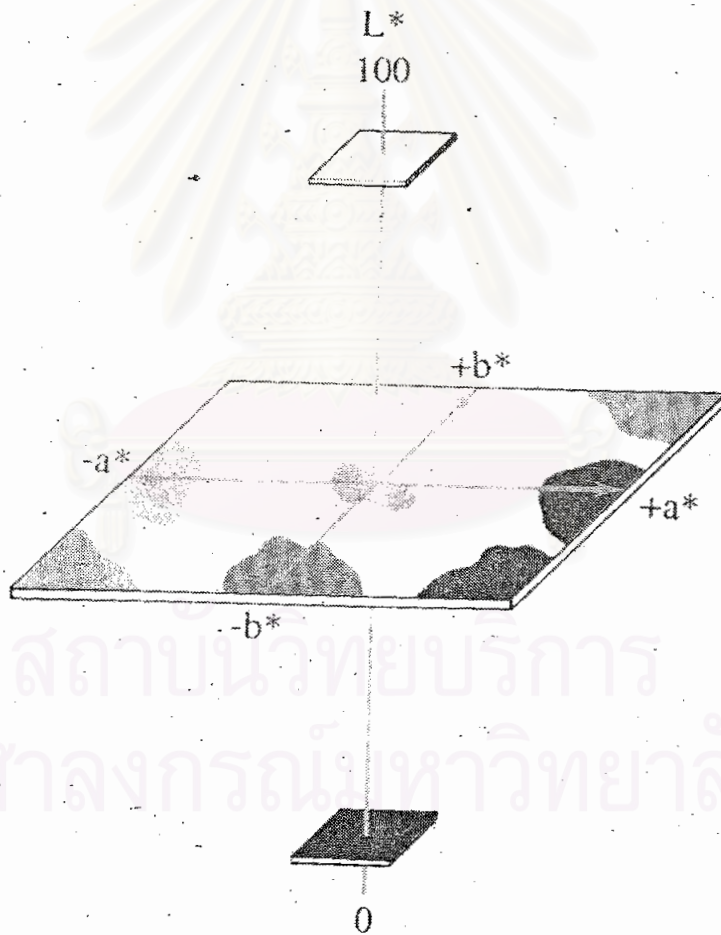
ภาคผนวก ข

สี การรับรู้ และการวัดสี

ข.1 ค่าสีซีแอล็บ (CIE Lab)

ข.1.1 แผนภูมิสีซีแอล็บ (CIE Lab)

แผนภูมิสีซีแอล็บนี้เป็นแผนภูมิสีสามมิติ ประกอบด้วยแกน 3 แกน คือ แกน L^* แกน a^* และแกน b^*



รูปที่ ข.1 แผนภูมิสีซีแอล็บ $L^* a^* b^*$ [15]

แกน L^* เป็นแกนที่ใช้แสดงมิติความสว่างสีสัมพัทธ์ของสี มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100

แกน a^* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีแดงและความเป็นสีเขียวของสี โดยส่วนของแกนที่เป็น “+” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีแดง ยิ่งค่า a^* มีค่าเป็นบวกมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีแดงมากเท่านั้น และส่วนของแกนที่เป็น “-” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเขียว ยิ่งค่า a^* มีค่าเป็นลบมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีเขียวมากขึ้นเท่านั้น

แกน b^* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสี โดยส่วนของแกนที่เป็น “+” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเหลือง ยิ่งค่า b^* มีค่าเป็นบวกมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเท่านั้นและส่วนของแกนที่เป็น “-” ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีน้ำเงิน ยิ่งค่า b^* มีค่าเป็นลบมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น

ข.1.2 การคำนวณค่าสีพิกัดซีแล็บของสี

ในการแสดงสีในแผนภูมิสีซีแล็บ จำเป็นต้องคำนวณหาค่าสีพิกัดซีแล็บก่อน ทั้งนี้ค่าสีพิกัดซีแล็บสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (\text{สมการที่ ข.1})$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{สมการที่ ข.2})$$

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

ทั้งนี้ X Y และ Z คือค่าไตรสติมูตซ์ของสีใด ๆ ส่วนค่า X_n Y_n และ Z_n คือค่าไตรสติมูตซ์ของสีขาวอ้างอิง ซึ่งในทางการพิมพ์หมายถึง ค่าไตรสติมูตซ์ของแสง D50 [15]

โดยอาศัยวิธีการคำนวณตามตัวอย่าง จะได้ค่าสีพิกัดดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างค่าสีพิกัดซีแอนด์ของสีต่าง ๆ (แสง D50)

สี	ค่าสีพิกัดซีแอนด์		
	L*	a*	b*
น้ำเงินเขียว	54.78	-42.34	-46.85
ม่วงแดง	49.59	70.94	-1.21
เหลือง	89.10	1.34	92.80
น้ำเงิน	20.34	14.40	-47.24
เขียว	47.14	-68.91	25.80
แดง	48.29	69.52	50.20
ดำ	15.55	-0.09	-4.40
ขาว	95.35	0.41	4.20

ข.1.3 การระบุสีสันและความอิ่มตัวสีสัมพัทธ์

สีสันและความอิ่มตัวสีสัมพัทธ์ของสีใด ๆ ที่มีพิกัดแสดงในแผนภูมิสีซีแอนด์ สามารถระบุสีสันและความอิ่มตัวสีสัมพัทธ์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$hab = \arctan(b^*/a^*)$$

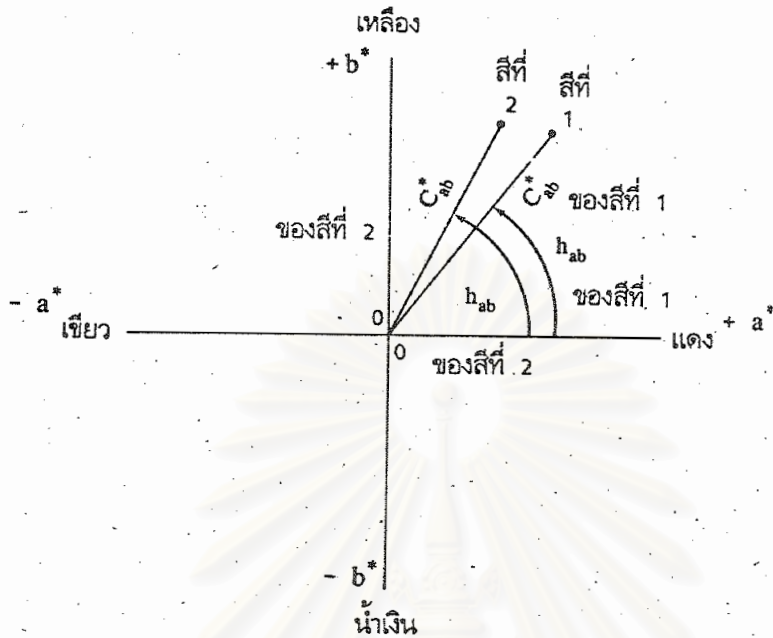
$$C^*ab = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

hab คือมุมของสีสันของสีนั้น

C*ab คือความอิ่มตัวสีสัมพัทธ์ของสีนั้น

a* และ b* คือค่าสีพิกัด a* และ b* ของสีนั้น

หรืออาจแสดงการหามุมสีสันและความอิ่มตัวสีสัมพัทธ์ของสีใด ๆ ในระนาบ a*b* ของแผนภูมิซีแอนด์ดังแสดงในภาพ ข.2



รูปที่ ข.2 การหามุมสีสันและความอ้อมตัวสีสัมพันธ์ของสีใด ๆ ในระนาบ $a^* b^*$
ของแผนภูมิซีแล็บ [15]

ข.2 ค่าความแตกต่างสี

การใช้งานค่าสีในระบบการวัดสีต่าง ๆ ในลักษณะหนึ่งนอกเหนือไปจากการใช้เพื่อกำหนดสีก็คือ การหาค่าความแตกต่างระหว่างสีสองสีใด ๆ เพื่อนำค่าความแตกต่างในการคำนวณได้ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการผลิตสี โดยในการผลิตสีที่ต้องการผลิตสีเพื่อให้มีสีใกล้เคียงกับสีมาตรฐาน ก็สามารถนำค่าสีซีแล็บของสีมาตรฐานและของสีที่ผลิตได้มาเปรียบเทียบ และคำนวณเป็นตัวเลข แล้วสังเกตดูว่าด้วยตัวเลขแสดงความแตกต่างดังกล่าว สีที่ผลิตได้มองเห็นแตกต่างจากสีมาตรฐานอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ หากได้ก็สามารถใช้ค่าความแตกต่างของสีดังกล่าวเป็นค่ามาตรฐานในการผลิตสีต่อไปได้

ในระบบการวัดสีซีแล็บ ค่าความแตกต่างของสีสองสีใด ๆ สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าฟังก์ชันซีแล็บของสีสองสีนั้น มาคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

1. การคำนวณหาค่าความแตกต่างโดยรวม

$$\Delta E^*_{ab} = [(L1^*-L2^*)^2 + (a1^*-a2^*)^2 + (b1^*-b2^*)^2]^{1/2}$$

$$\text{หรือ } \Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2] \quad (\text{สมการ ข.3})$$

2. การคำนวณหาค่าความแตกต่างของสีสัน

$$\Delta H^*_{ab} = [(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2]^{1/2} \quad (\text{สมการ ข.4})$$

โดยที่ ΔE^*_{ab} คือความแตกต่างโดยรวมระหว่างสีสองสีใด ๆ

$L1^*, a1^*, b1^*$ คือค่าสีพิกัดซีแล็บของสีที่หนึ่ง

$L2^*, a2^*, b2^*$ คือค่าสีพิกัดซีแล็บของสีที่สอง

$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ คือความแตกต่างระหว่างพิกัด $L1^*, a1^*, b1^*$ ของสีทั้งสอง

ΔH^*_{ab} คือความแตกต่างของสีสันระหว่างสีสองสีใด ๆ

ΔC^*_{ab} คือค่าความแตกต่างของค่าความอิ่มตัวสีสัมพัทธ์ของสีสองสีใด ๆ

ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์โดยทั่วไปใช้ค่าความแตกต่างโดยรวมเป็นหลัก ยิ่งค่าความแตกต่างโดยรวมระหว่างสีบนแผ่นพิมพ์มาตรฐานกับสีเดียวกันบนแผ่นพิมพ์จริงมีค่าน้อยมากเท่าใด ก็จะมีสีเหมือนกันมากเท่านั้น ในการกำหนดตัวเลขค่าความแตกต่างโดยรวมที่จะใช้เป็นค่ามาตรฐานในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ว่าควรมีค่าเป็นเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของงานที่ต้องการเป็นสำคัญ ถ้าเป็นงานพิมพ์ที่ต้องการคุณภาพสูง ก็ต้องกำหนดให้ตัวเลขค่าความแตกต่างโดยรวมเป็นตัวเลขน้อย ๆ เช่น 2 หรือ 3 เป็นต้นจากงานวิจัยอันหนึ่ง พบว่าในการพิมพ์ภาพด้วยความละเอียดสกรีน 150 เส้นต่อนิ้ว โดยใช้แม่พิมพ์พอลิเอทิลีนบนกระดาษเคลือบผิว ค่าความแตกต่างโดยรวมมีค่าประมาณ 5 ซึ่งในสภาวะการพิมพ์ดังกล่าวจัดได้ว่าเป็นการพิมพ์คุณภาพสูง [15]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

เคมีพื้นผิวและกระแสวิทยาสำหรับการพิมพ์

ค.1 แร่งระหว่างพื้นผิว

ค.1.1 พลังงานอิสระที่พื้นผิว

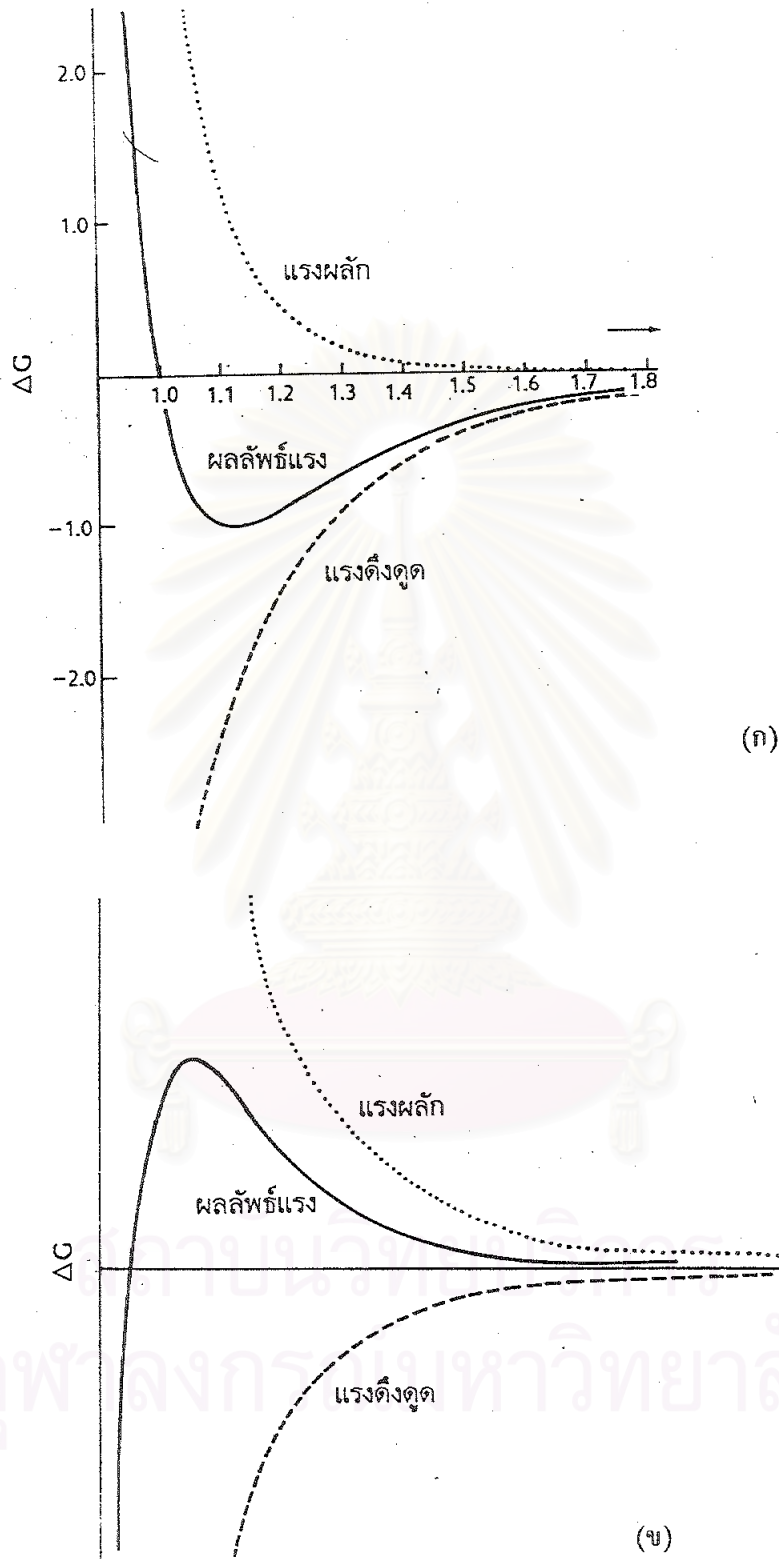
อนุภาคใด ๆ จะมีพลังงานอิสระที่พื้นผิว (surface free energy, ΔG) ซึ่งเป็นผลลัพท์รวมของแรงดึงดูด (attractive force, ΔG_{att}) และแรงผลัก (repulsive force, ΔG_{rep}) ระหว่างอนุภาค โดยกำหนดให้แรงดึงดูดมีค่าเป็นลบและแรงผลักมีค่าเป็นบวก ดังสมการ

$$\Delta G = \Delta G_{att} + \Delta G_{rep}$$

เมื่อระยะทางระหว่างอนุภาคเปลี่ยนไป เช่น ระยะสั้นลงซึ่งเกิดจากอนุภาคเคลื่อนเข้าหากัน หรือยาวขึ้นซึ่งเกิดจากอนุภาคเคลื่อนห่างออกจากกัน จะทำให้ผลลัพท์รวมของแรงทั้งสองผันแปรไป ดังรูป ค.1

เมื่ออนุภาค 2 อนุภาคเข้ามาใกล้กันแล้ว เกิดการรวมกันหรือเชื่อมพื้นผิวดิจ เช่น การที่หยดของเหลว 2 หยด รวมเป็นหยดเดียวกัน แสดงว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิวเป็นลบ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวของหยดของเหลวทั้งสองมากกว่าแรงผลัก จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งพลังงานอิสระที่พื้นผิวจะมีลักษณะเป็นไปตามเส้นโค้งแรงดึงดูดมากกว่าเส้นโค้งของแรงผลัก ปรากฏการณ์เช่นนี้ใช้อธิบายหลักการยึดติดกันระหว่างวัสดุทางการพิมพ์ เช่น การติดหมึกบนกระดาษ การติดของกาวที่สันหนังสือ การติดของสารเคลือบผิวบนวัสดุพิมพ์ เป็นต้น

เมื่ออนุภาค 2 อนุภาคเข้ามาใกล้กัน หากไม่มีการรวมกันหรือเชื่อมพื้นผิวดิจกัน เช่น การที่หยดของเหลว 2 หยด เคลื่อนเข้าใกล้กันถึงระยะหนึ่ง แต่ไม่รวมเป็นหยดเดียวกัน แสดงว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิวเป็นบวก เนื่องจากแรงดึงดูดน้อยกว่าแรงผลัก จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งพลังงานอิสระที่พื้นผิวจะมีลักษณะเป็นไปตามเส้นโค้งแรงผลักมากกว่าเส้นโค้งของแรงดึงดูด ลักษณะนี้ถ้าเกิดกับอนุภาคฟุ้งกระจายในคอลลอยด์ เช่น หมึกพิมพ์ เมื่ออนุภาคเข้ามาใกล้กันถึงระยะหนึ่งอนุภาคจะผลักกันตลอดเวลา ทำให้ระบบของคอลลอยด์นั้นเสถียร ไม่เกิดการตกตะกอนหรือการแยกชั้นของอนุภาคฟุ้งกระจาย



รูปที่ ค.1 กราฟแสดงพลังงานอิสระที่พื้นผิว

ค.1.2 ประเภทของแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค

แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ พันธะเคมี และแรงทางกายภาพ

1) พันธะเคมี เป็นพันธะระหว่างอะตอม ได้แก่ พันธะไอออนิก (ionic bond) พันธะโควาเลนต์ (covalent bond) พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

2) แรงทางกายภาพ คือ แรงลอนดอน-แวนเดอร์วาลส์ (London-Van der Walls force) ซึ่งจะมีขนาดของแรงน้อยกว่าพันธะเคมี แรงลอนดอน-แวนเดอร์วาลส์ มีอีก 2 ประเภท คือ

2.1) แรงลอนดอนดิสเพอซัน (London-dispersion force) เป็นแรงที่เกิดจากโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้ว (non-polar molecule) คือเป็นโมเลกุลที่มีการเรียงตัวของอิเล็กตรอนแบบสมมาตร (symmetry)

2.2) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der wall force) เป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากประจุหรืออิเล็กตรอนของโมเลกุลที่มีการเรียงตัวของอิเล็กตรอนแบบไม่สมมาตร (asymmetry) จึงเกิดสภาพขั้วขึ้นเรียกว่า โมเลกุลไดโพล (dipole molecule) แรงแบบนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

แรงคีซอม (Keesom force) หรือ แรงไดโพล (dipole force) เป็นแรงดึงดูดที่เกิดระหว่างโมเลกุลไดโพลถาวร (permanent dipole) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีสภาพขั้วถาวรด้วยกัน

แรงเดอบาย (Debye force) หรือ แรงเหนี่ยวนำ (induce force) เป็นแรงดึงดูดที่เกิดระหว่างโมเลกุลไดโพลถาวร (permanent dipole) กับโมเลกุลไดโพลเหนี่ยวนำ (induced dipole) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีสภาพขั้วชั่วคราว

ค.1.3 ประเภทของแรงผลักระหว่างอนุภาค

แรงผลักระหว่างอนุภาคมี 2 ประเภท คือ

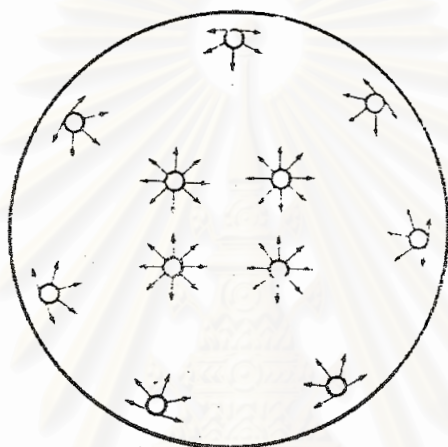
1) แรงผลักที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic repulsive force) เกิดจากกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนของโมเลกุลที่เข้ามาซ้อนทับกัน เมื่อโมเลกุลเข้ามาใกล้กัน

2) แรงผลักแบบสเตอริก (steric repulsive force) เกิดจากอนุภาคอื่นที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวโมเลกุล ด้วยสมบัติของอนุภาคที่เกาะกันอยู่นั้น ทำให้เมื่อโมเลกุลเข้าใกล้กันจะเกิดการผลักกัน เช่น อนุภาคที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) หรือไม่ชอบน้ำมัน (oleophobic) จะผลักกับอนุภาคที่มีสมบัติชอบน้ำมัน (oleophilic) หรือไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เป็นต้น

ค.2 แรงดึงผิว การเปียก และมุมสัมผัส

ค.2.1 แรงดึงผิว

แรงดึงผิวของของเหลวใด ๆ หมายถึง แรงภายในของเหลวที่ดึงโมเลกุลแต่ละโมเลกุลที่พื้นผิวของของเหลวเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ซึ่งแรงนี้เกิดจากการที่โมเลกุลเฉพาะบริเวณที่พื้นผิวมีแรงดึงไม่สมดุล ดังภาพที่ ค.2 จึงเป็นผลให้ของเหลวนั้น ๆ พยายามที่จะคงสภาพในลักษณะที่เป็นหยดกลม ๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แรงดึงผิวของของเหลวมีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อเมตร (mN/m)



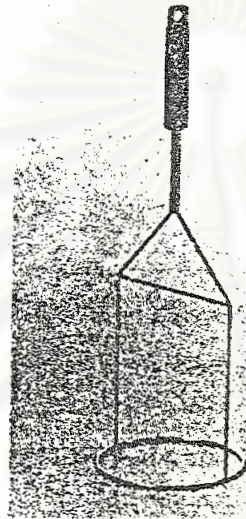
รูปที่ ค.2 แผนภาพแสดงความหมายแรงดึงผิวของของเหลวใด ๆ [15]

วิธีการวัดค่าแรงดึงผิว การวัดค่าแรงดึงผิวมีหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อจำกัดต่างกัน ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 วิธีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การใช้วงแหวนโลหะ (ring method) การใช้แผ่นโลหะ (plate method) และการใช้เทนซิโอมิเตอร์ (tensiometer)

1) การใช้วงแหวนโลหะ ซึ่งเป็นวงแหวนแพลตินัม แขนง โดยให้วงแหวนอยู่ในแนวนอน และขนานกับผิวหน้าของของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะ การหาค่าของแรงดึงผิวของของเหลว ทำได้โดยจุ่มวงแหวนนี้ลงไปลงในของเหลวแล้วยกขึ้นช้า ๆ จนกระทั่งสังเกตเห็นของเหลวส่วนหนึ่งเกาะติดกับวงแหวนและถูกยกขึ้นตามวงแหวนไปด้วย จากนั้นวัดขนาดแรงที่ของเหลวกระทำต่อวงแหวนตลอดทั้งเส้นรอบวง แล้วนำมาคำนวณหาค่าแรงดึงผิวด้วยการหารขนาดของแรงนั้นด้วยความยาวเส้นรอบวง ดังสมการ

$$\sigma = F / (L \cos \theta) \quad (\text{สมการ ค.1})$$

เมื่อ σ = แรงดึงผิว(มิลลินิวตันต่อเมตร)
 F = แรงที่ของเหลวกระทำต่อวงแหวน (มิลลินิวตัน)
 L = ความยาวของเส้นรอบวง(เมตร)
 θ = มุมสัมผัส



รูปที่ ค.3 การหาค่าแรงดึงผิวโดยใช้วงแหวนโลหะ [15]

2) การใช้แผ่นโลหะ (plate method) แผ่นโลหะที่ใช้เป็นแผ่นแพลทินัมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แขนงในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าของของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะ การหาค่าของแรงดึงผิวของของเหลว ทำได้โดยจุ่มขอบล่างของแผ่นแพลทินัมนี้ลงไปในของเหลวแล้วยกขึ้นช้า ๆ จนกระทั่งสังเกตเห็นของเหลวส่วนหนึ่งเกาะติดกับขอบล่างของแผ่นแพลทินัมในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง จากนั้นวัดขนาดของแรงที่ของเหลวดึงขอบล่างของแผ่นแพลทินัมไว้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าแรงดึงผิวด้วยการหารขนาดของแรงนั้นด้วยความยาวของขอบล่างของแผ่นแพลทินัม ดังสมการ

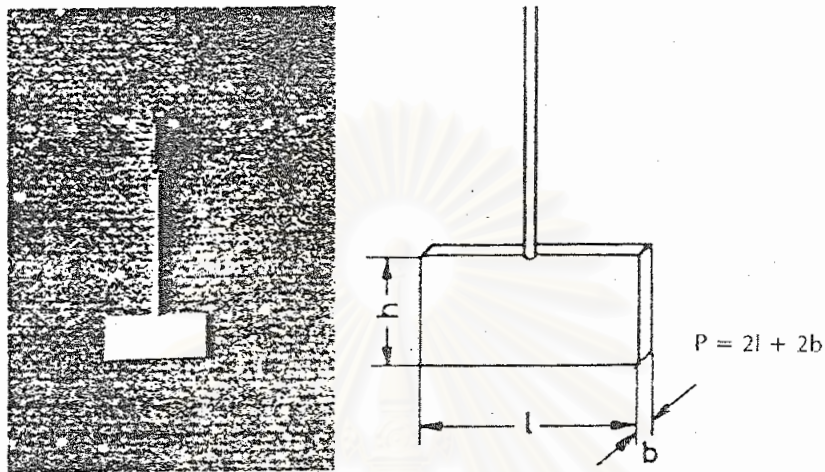
$$\sigma = F / (P \cos \theta) \quad (\text{สมการ ค.2})$$

เมื่อ σ = แรงดึงผิว(มิลลินิวตันต่อเมตร)
 F = แรงที่ของเหลวกระทำต่อวงแหวน (มิลลินิวตัน)

$P =$ ความยาวของขอบโลหะโดยรอบ (เมตร) โดย $P = 2l + 2b$

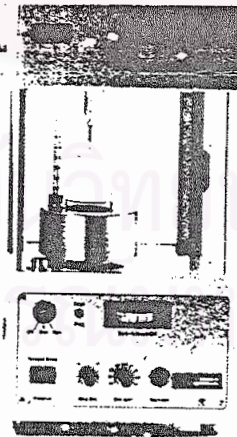
เมื่อ l เป็นความยาวของแผ่นโลหะ b เป็นความกว้างของแผ่นโลหะ

$\theta =$ มุมสัมผัส



รูปที่ ค.4 การหาค่าแรงดึงผิวโดยใช้แผ่นโลหะ [15]

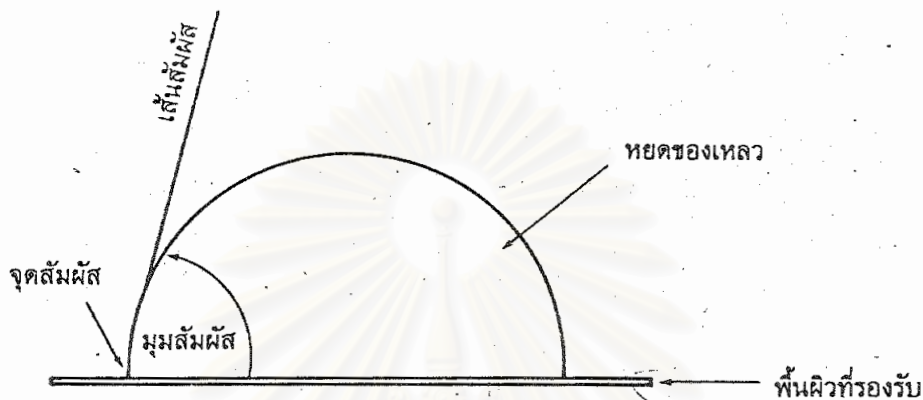
3) การใช้เทนซิโอมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นสำหรับวัดแรงดึงผิวของของเหลวโดยใช้หลักการของวิธีวงแหวนหรือแผ่นโลหะเช่นกัน เพียงแต่สามารถวัดและอ่านค่าได้โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น สามารถอ่านค่าได้โดยตรง



รูปที่ ค.5 เทนซิโอมิเตอร์ชนิดที่เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปสำหรับวัดแรงดึงผิว [15]

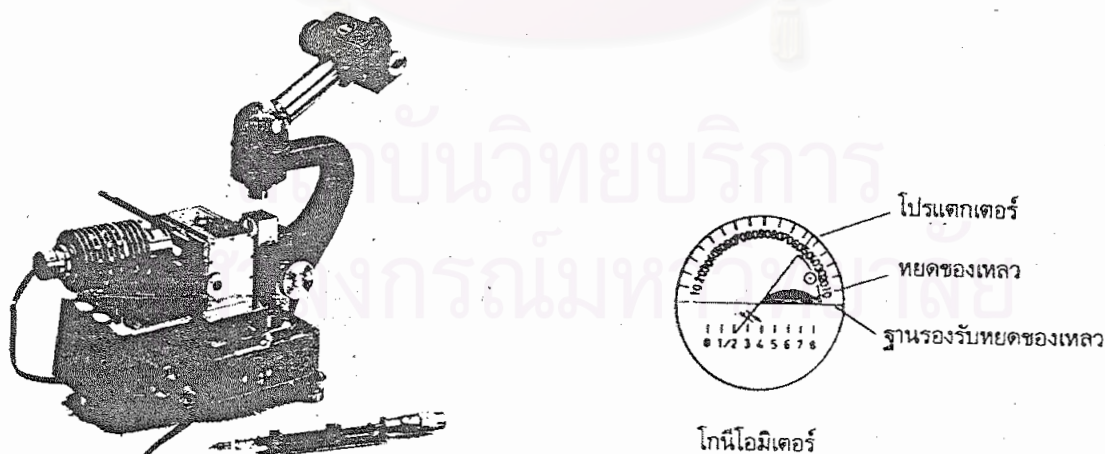
ค.2.2 มุมสัมผัส

จุดที่ขอบของเหลวสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งนั้น เรียกว่าจุดสัมผัส (contact point) จุดสัมผัสนี้มีหลายจุด เรียงรายอยู่รอบ ๆ ขอบหยดน้ำนั่นเอง ณ จุดสัมผัสหนึ่ง ๆ ถ้าลากเส้นสัมผัสผ่านผิวของหยดน้ำไปยังจุดสัมผัสดังกล่าวที่ ค.6 จะเกิดมุมระหว่างเส้นสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุที่รองรับของเหลวเรียกว่า มุมสัมผัส (contact angle)

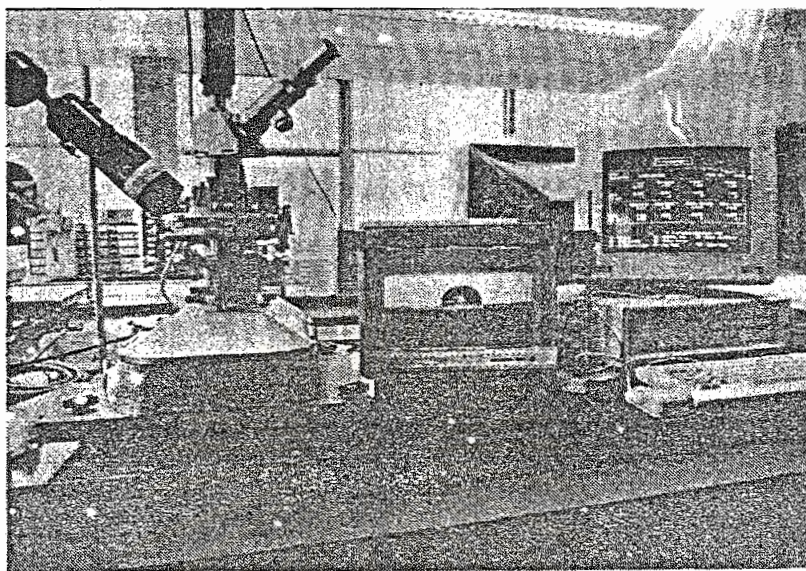


รูปที่ ค.6 แผนภาพแสดงมุมสัมผัส จุดสัมผัส และเส้นสัมผัส [15]

การวัดมุมสัมผัสอาจทำได้หลายวิธี เช่นการถ่ายรูปหยดของเหลวทางด้านข้าง แล้ววัดมุมโดยตรงจากภาพถ่ายด้วยไม้โปรแทกเตอร์ ปัจจุบันมีเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อวัดมุมสัมผัสโดยเฉพาะ ได้แก่ โคนิโอมิเตอร์ (goniometer) ซึ่งเมื่อมองผ่านเลนส์ลงไป จะเห็นภาพขยายด้านข้างของหยดน้ำ แล้ววัดมุมตามสเกลที่ปรากฏอยู่ ดังแสดงในภาพที่ ค.7 และการใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (image analysis) บางโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ ค.8 ก็ได้

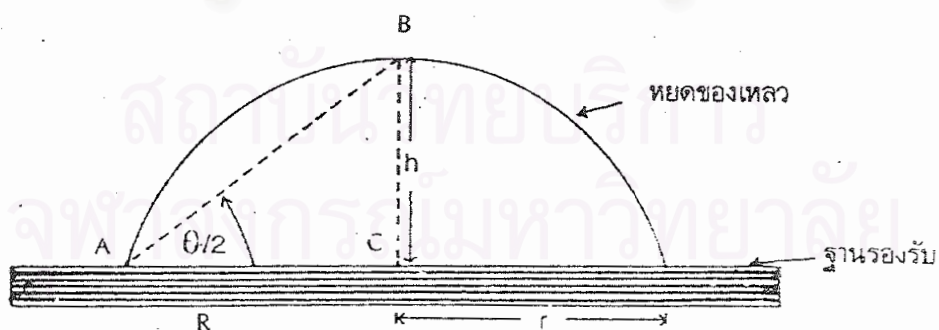


รูปที่ ค.7 กล้องจุลทรรศน์โคนิโอมิเตอร์



รูปที่ ค.8 การใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อวัดมุมสัมผัส

อย่างไรก็ตามการวัดมุมสัมผัสโดยตรงด้วยโปรแทรกเตอร์หรือโกนิโอมิเตอร์นั้นอาจได้ค่าที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากความไม่แน่นอนในการลากเส้นสัมผัส ดังนั้นจึงได้มีการเสนอวิธีการหาค่ามุมสัมผัสทางอ้อมซึ่งจะได้ค่าที่แม่นยำกว่ามาก คือ การสร้างรูปสามเหลี่ยมมุมฉากจากรูปที่ ค.9 แล้ววัดมุม A ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\theta/2$ ดังนั้นมุมสัมผัสที่ได้จึงได้จากการวัดมุม A แล้วคูณด้วย 2

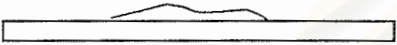
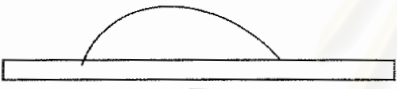
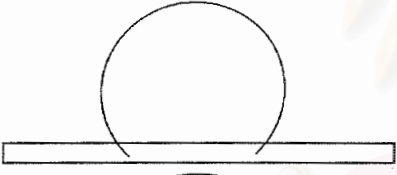
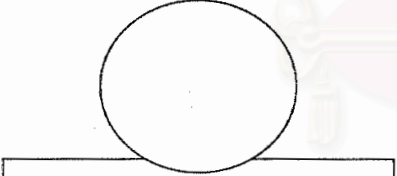


รูปที่ ค.9 วิธีการหาค่ามุมสัมผัสจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉากและมุม $\theta/2$ [15]

ค.2.3 การเปียกและความสามารถในการเปียก

ความสามารถของระบบใด ๆ ที่จะเกิดการเปียกได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงตึงผิวของของเหลวและพลังงานผิวของวัสดุที่รองรับหยดของเหลวในระบบนั้น ๆ

ระดับของการเปียกแบ่งได้เป็น 3 ระดับ จากเปียกมากไปหาเปียกน้อย ตั้งแต่การเปียกที่สมบูรณ์ (complete wetting หรือ spreading) ซึ่งแบบนี้ของเหลวจะแผ่แบนจนวัดมุมสัมผัสไม่ได้ ไปจนถึงการเปียกบางส่วน (partial wetting) และการไม่เปียก (non-wetting) ดังรูป ค.10

ภาพ	มุมสัมผัส(องศา)	ระดับความเปียก
	$\theta = 0^\circ$	เปียกทั่วถึงหรือเปียกสมบูรณ์
	$0^\circ < \theta < 90^\circ$	เปียกบางส่วน
	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	ไม่เปียก
	$\theta = 180^\circ$	ไม่เปียกและไม่แผ่กระจาย

รูปที่ ค.10 เกณฑ์การใช้มุมสัมผัสเป็นดัชนีบอกระดับความเปียกของซลาฟเฟอร์ [15]

ค.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสและการเปียก

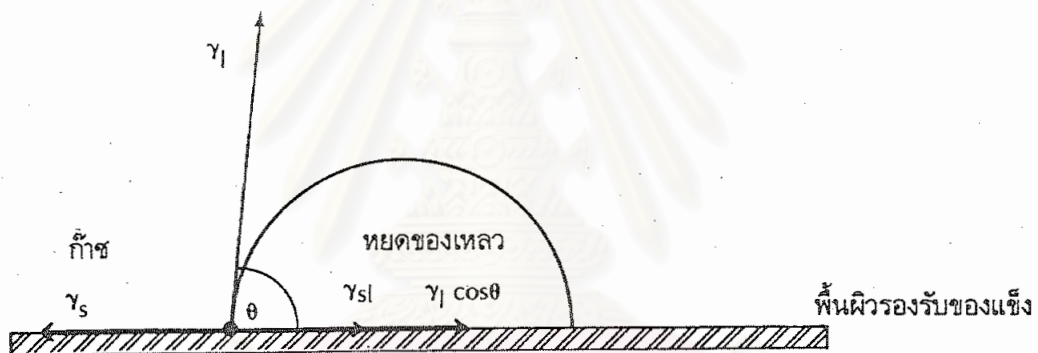
จากภาพที่ ค.10 จะเห็นได้ว่ามุมสัมผัสกับระดับความเปียกมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผัน คือ มุมสัมผัสขนาดใหญ่ จะเกิดการเปียกน้อย หรือมุมสัมผัสขนาดเล็กจะเกิดการเปียกมาก ในการเปรียบเทียบขนาดของหยดของเหลวบนผิววัสดุรวมทั้งขนาดของมุมสัมผัสกับระดับความเปียกมีข้อควรคำนึงถึง คือ ต้องใช้หยดของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากัน เพื่อลดอิทธิพลจากความผันแปรของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหยดของเหลวนั้น

ค.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิว มุมสัมผัส และการเปียก

มุมสัมผัสนี้มีประโยชน์ในการเป็นดัชนีเปรียบเทียบค่าแรงตึงผิวระหว่างของเหลวชนิดต่าง ๆ เมื่อหยดของเหลวเหล่านั้นลงบนพื้นผิวของแข็งชนิดเดียวกัน โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์เกี่ยวกับแรงตึงผิว มุมสัมผัสและการเปียก ของของเหลวใด ๆ ได้ว่า แรงตึงผิวแปรกลับกับการเปียกแต่แปรตามขนาดของมุมสัมผัส

ค.3 พลังงานผิว แรงตึงผิววิกฤต และแรงตึงระหว่างผิว

จากการสร้างมุมสัมผัสที่ได้จากการลากเส้นสัมผัสจากจุดสัมผัสให้สมมติส่วนโค้งของขอบหยดของเหลว สามารถเขียนสมดุลของแนวแรงที่เกี่ยวข้อง 3 แรง คือ พลังงานผิวของของแข็ง แรงตึงระหว่างผิวของเหลวกับของแข็ง และแรงตึงผิวของของเหลวได้โดยใช้สมการของยัง (Young's equation) หรือสมการของยัง-ดูเปร (Young-Dupre's equation)



รูปที่ ค.11 การหาพลังงานผิวของของแข็ง [15]

โดยสมการของยังได้เสนอว่าในสถานะที่สมดุล แรงที่กระทำตรงจุดสัมผัสจะเป็นดังนี้
พลังงานผิวของของแข็ง = แรงตึงระหว่างผิวของเหลวกับของแข็ง + (แรงตึงผิวของของเหลว x ค่า cos ของมุมสัมผัส)

ซึ่งแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

$$\gamma_s = \gamma_{sl} + \gamma_l \cos \theta \quad (\text{สมการที่ ค.3})$$

เมื่อ γ_l = แรงตึงผิวของของเหลว

γ_s = พลังงานผิวของของแข็ง

γ_{sl} = แรงตึงระหว่างพื้นผิวของของเหลวกับของแข็ง

θ = มุมสัมผัส

ค.3.1 พลังงานผิว

พลังงานผิว เป็นแรงที่ผิวของของแข็งกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อตารางเมตร (mN/m^2) ซึ่งหมายถึงพลังงานอิสระที่ผิวหรือพลังงานที่ต้องการในการสร้างพื้นผิวใหม่ ค่าพลังงานผิวของของแข็งแทนด้วยสัญลักษณ์ γ_s พลังงานผิวของของแข็งจะต่างจากของเหลวที่วัดเป็นแรงที่กระทำต่อระยะทางได้โดยตรงและวิธีการคำนวณค่าได้จากสมการที่ไม่ยุ่งยาก พื้นผิวของวัสดุที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic surface) หรือเปียกน้ำได้ง่ายและพื้นผิวที่มีสภาพขรุขระ จัดเป็นประเภทที่มีพลังงานผิวสูง พื้นผิวของวัสดุที่มีสมบัติชอบน้ำมัน (hydrophobic surface) หรือเปียกน้ำมันได้ง่าย และพื้นผิวที่ไม่มีสภาพขรุขระจะจัดเป็นประเภทที่มีพลังงานต่ำ

ปรากฏการณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานผิว การเปียก และมุมสัมผัสนั้นจะเกี่ยวกับแรงดึงผิวของของเหลวด้วย แต่ให้ใช้ของเหลวชนิดเดียวกันหยดลงบนวัสดุรองรับที่เป็นของแข็งต่างชนิดกัน จะพบว่าแต่ละวัสดุรองรับนั้นจะให้ค่ามุมสัมผัสและระดับการเปียกที่ต่างกัน ทั้งนี้เพราะวัสดุต่างชนิดกันย่อมมีค่าพลังงานผิวต่างกัน ทำให้แรงดึงดูดของเหลวให้เปียกผิววัสดุนั้นจึงมากน้อยต่างกันด้วย พื้นผิวใดที่มีพลังงานผิวยิ่งมาก จะให้มุมสัมผัสที่เล็กลง และการเปียกมากขึ้น

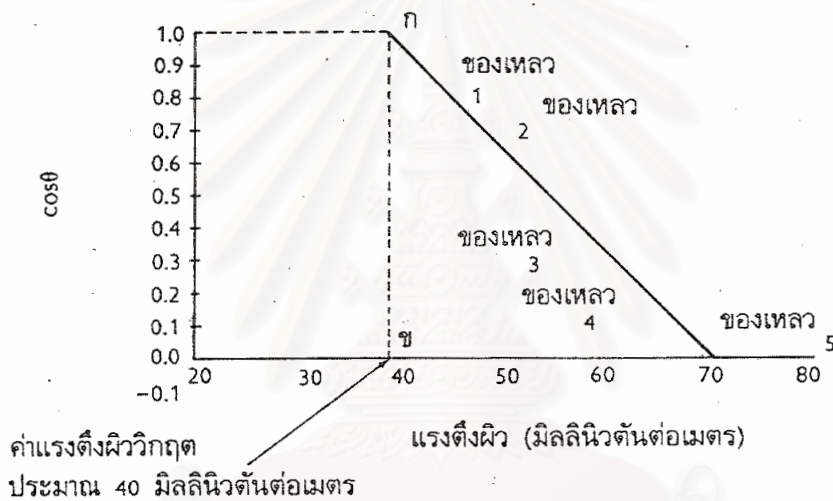
อย่างไรก็ตามที่แต่ละจุดสัมผัสรอบ ๆ หยดของเหลว อาจให้มุมสัมผัสที่มีค่าไม่เท่ากันทุกจุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหลายสาเหตุ เช่นผิวของวัสดุแข็งที่รองรับไม่เรียบพอ หรือเรียบไม่สม่ำเสมอ บางบริเวณอาจมีสารปนเปื้อนหรือเป็นพื้นผิวที่ตั้งใจออกแบบให้มีพลังงานผิวที่ต่างกัน

ค.3.2 แรงดึงผิววิกฤต

แรงดึงผิววิกฤต (critical surface tension, γ_c) เป็นค่าแรงดึงผิวของของเหลวที่เทียบเท่ากับค่าพลังงานผิวของของแข็ง ณ จุดที่เริ่มเกิดการเปียกที่สมบูรณ์และมุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา แรงดึงผิววิกฤตหาได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับแรงดึงผิวของของเหลวต่างชนิดกันจำนวนหนึ่ง วิธีการหาค่าแรงดึงผิววิกฤตนี้เรียกว่า วิธีของซิสแมน (Zisman's Approach) ซึ่งนำเสนอโดยฟอกส์และซิสแมน (Fox & Zisman) ในปี พ.ศ. 2493 โดยเป็นการหาค่าพลังงานผิวที่สัมพันธ์กับค่าแรงดึงผิววิกฤตนั่นเอง

วิธีการหาค่าแรงดึงผิววิกฤตทำได้โดยใช้ของเหลวอย่างน้อย 5 ชนิด โดยต้องเป็นของเหลวที่ทราบค่าแรงดึงผิวแล้ว โดยเลือกชนิดที่มีแรงดึงผิวต่าง ๆ กัน มาหยดลงบนของแข็งซึ่งเป็นวัสดุที่รองรับ จากนั้นให้วัดมุมสัมผัสที่แต่ละของเหลวทำกับผิววัสดุแข็งนั้น นำค่าของมุมสัมผัสที่วัดได้มาแปลงเป็นค่า $\cos \theta$ แล้วนำค่า $\cos \theta$ กับค่าแรงดึงผิวมาสร้างกราฟ โดยให้แรงดึงผิวเป็นแกน X และมุมสัมผัสเป็นแกน Y

จากกราฟที่ได้ สามารถหาค่าแรงดึงผิววิกฤตได้โดยการลากเส้นตั้งฉากกับแกน Y ที่จุด $\cos \theta$ เท่ากับ 1 ไปตัดกับเส้นตรงที่จุด ก จากนั้นจึงลากเส้นจากจุดตัด ก ลงมาตั้งฉากกับแกน X ที่จุด ข ค่าแรงดึงผิวที่จุด ข คือ ค่าแรงดึงผิววิกฤต ซึ่งเท่ากับค่าแรงดึงผิวที่หยดของเหลวแผ่กระจายบนผิววัสดุที่รองรับหยดของเหลวนั้น โดยมีค่ามุมสัมผัส 0 องศา หรือมีค่า $\cos \theta$ เท่ากับ 1 ดังรูปที่ ค.12



รูปที่ ค.12 การหาค่าแรงดึงผิววิกฤตจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวและมุมสัมผัส [15]

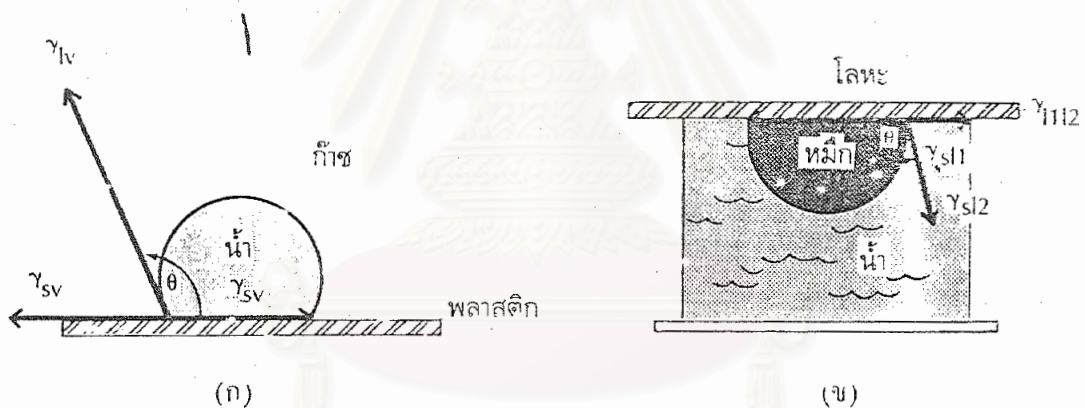
ในการประเมินค่าพลังงานผิววัสดุใด ๆ เช่น พลาสติก กระดาษ แก้ว โลหะ บางครั้งทำได้ยากเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำหรับวัดโดยตรง การประเมินค่าพลังงานผิวที่แท้จริงอาจทำได้ทางอ้อมโดยการใช้อุปกรณ์ร่วมกับการคำนวณที่ซับซ้อน แต่ในทางปฏิบัติแล้วอาจไม่จำเป็นต้องทราบค่าพลังงานผิวที่แท้จริงก็ได้ เพราะค่าพลังงานผิวที่เป็นประโยชน์ คือ ค่าพลังงานผิว ณ จุด ที่เกิดการเปียกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นค่าไม่สามารถวัดได้โดยตรงเช่นกัน แต่สามารถใช้ค่าแรงดึงผิววิกฤตแทนได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการอาศัยหลักการว่า ณ จุดที่เกิดการเปียกสมบูรณ์ซึ่งมุม

สัมผัสเป็นศูนย์กลางนั้น ค่าพลังงานผิวต่ำสุดของวัสดุที่เพียงพอต่อการดึงให้หยดของเหลวแผ่แบนราบบนผิววัสดุจะมีค่าเท่ากับค่าแรงตึงผิววิกฤต

ค.3.3 แรงตึงระหว่างพื้นผิว

เมื่อพื้นผิว 2 ชนิดเข้ามาสัมผัสกัน อันตรกิริยาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นตรงบริเวณระหว่างพื้นผิว (interface) ได้แก่ การฟุ้งกระจาย (dispersion) อิมัลซิฟิเคชัน (emulsification) การแขวนลอย (suspension) การดูดซับ (adsorbing) การเกิดฟอง (foaming) และการละลาย (dissolving) เป็นต้น

แรงตึงผิวระหว่างพื้นผิว หมายถึงแรงตึงผิวที่ดึงทุกโมเลกุลไว้ให้อยู่ที่ชั้นนอกสุดของเฟส เพื่อไม่ให้หลุดออกไปนอกขอบเขตของเฟส แรงที่มีผลมากต่อแรงตึงผิว คือแรงตึงผิวแวนเดอร์วาลส์ สำหรับบริเวณระหว่างพื้นผิวโดยทั่วไปหมายถึง บริเวณที่เฟสของก๊าซสัมผัสกับเฟสอื่นที่มีโมเลกุลหนาแน่นกว่าก๊าซซึ่งอาจเป็นเฟสของของเหลวหรือเฟสของแข็งก็ได้



รูปที่ ค.13 หยดน้ำบนพลาสติกที่วางในอากาศ(ก)และหยดหมึกบนโลหะคว่ำตะผิวน้ำ(ข) [15]

ในรูปที่ ค.13 (ก) เป็นหยดน้ำบนพลาสติกที่วางในอากาศ จากสมการของยัง แรงตึงระหว่างผิวที่เกิดขึ้น จึงแทนด้วยสัญลักษณ์เหล่านี้

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (\text{สมการที่ ค.4})$$

เมื่อ γ_{sv} = แรงตึงระหว่างผิวของแข็งกับก๊าซ

γ_{sl} = แรงตึงระหว่างผิวของแข็งกับของเหลว

γ_{lv} = แรงตึงระหว่างพื้นผิวของของเหลวกับก๊าซ

เนื่องจากก๊าซมีการกระจายโมเลกุลที่อยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงดึงดูดของก๊าซมีค่าต่ำมาก ดังนั้น γ_{sv} ซึ่งหมายถึง แรงดึงดูดระหว่างผิวของแข็งกับก๊าซ จึงมีค่าใกล้เคียงกับพลังงานผิวของของแข็งมาก จึงนิยมเขียนสั้น ๆ ว่า γ_s แทนเพราะถือว่าเป็นตัวเดียวกัน ในทำนองเดียวกัน γ_{lv} ซึ่งหมายถึง แรงดึงดูดระหว่างผิวของเหลวกับก๊าซ จึงนิยมเขียนว่า γ_l

ในรูปที่ ค.13 (จ) เป็นหยดหมึกบนโลหะที่จุ่มอยู่ในน้ำ หมึกเป็นหมึกน้ำมัน ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ หยดหมึกจึงลอยตัวขึ้นไปแตะผิวโลหะ แรงดึงดูดระหว่างผิวที่เกิดขึ้นจึงแทนด้วยสัญลักษณ์เหล่านี้

$$\gamma_{sl} = \gamma_{sl1} + \gamma_{l1l2} \cos \theta \quad (\text{สมการที่ ค.5})$$

เมื่อ γ_{sl} = แรงดึงดูดระหว่างผิวโลหะกับน้ำ

γ_{sl1} = แรงดึงดูดระหว่างผิวโลหะกับหมึก

γ_{l1l2} = แรงดึงดูดระหว่างหมึกกับน้ำ

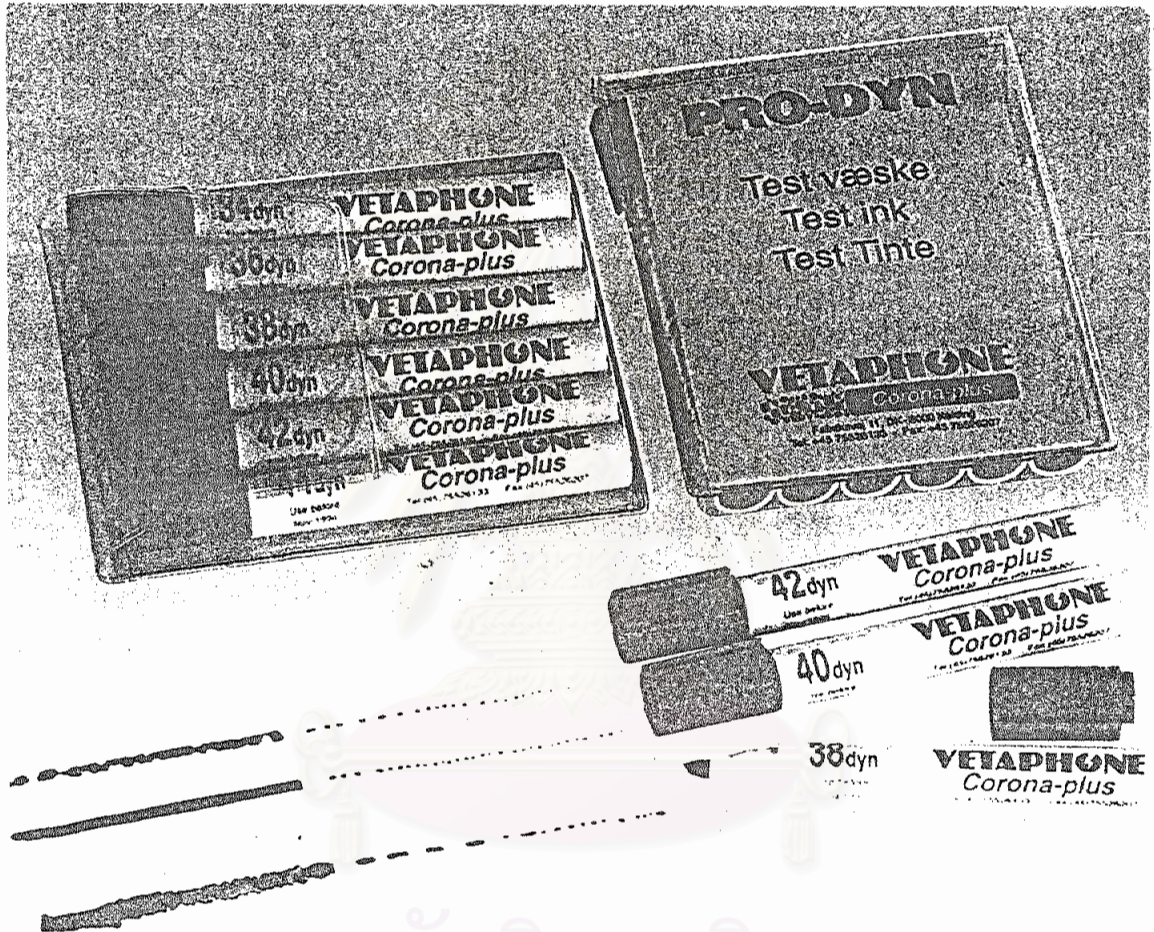
ค.3.4 การคำนวณค่าพลังงานผิวของของแข็ง

ค่าพลังงานผิวของของแข็งไม่มีเครื่องมือวัดโดยตรงเหมือนกับเครื่องมือวัดแรงดึงดูดผิวของของเหลว แต่อย่างไรก็ตามสามารถหาค่าได้จากวัดมุมสัมผัสและการคำนวณซึ่งมีทฤษฎีอ้างอิงหลายทฤษฎี ได้แก่ ทฤษฎีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean theory) ทฤษฎีค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (harmonic mean theory) และทฤษฎีอื่น ๆ อีกหลายทฤษฎี โดยวิธีคำนวณค่าพลังงานผิวมีหลายวิธี เช่น วิธีของโฟกส์ (Fowkes) วิธีของโอเวนส์และเวนดท์ (Owens-Wendt) วิธีของซีสแมน (Zisman) วิธีของสโตรม (Strom) และวิธีของแวนออสส์ (Van Oss) ซึ่งแต่ละวิธีจะต้องเกี่ยวข้องกับการวัดมุมสัมผัส แต่ก็ไม่มีวิธีใดที่ให้ค่าพลังงานผิวที่แท้จริง ค่าที่ได้เป็นเพียงค่าประเมินที่ใกล้เคียงเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

อุปกรณ์วัดพลังงานผิว



รูปที่ ง.1 ตัวอย่างปากกาสำหรับวัดค่าพลังงานผิว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปากกาวัดค่าพลังงานผิวหรือปากกาวัดค่าดาเยน (Surface energy-test หรือ Dyne-test ink) ใช้กันมากในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของพลาสติกที่ผ่านการปรับสภาพ เช่น วิธีโคโรนา (corona treatment) เป็นต้นให้มีค่าพลังงานผิวที่เพียงพอต่อการพิมพ์ (printing) การเคลือบด้วยสารยึดเคลือบ (coating) และการเคลือบด้วยฟิล์ม (laminating) เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดจากการพิมพ์ไม่ติดก่อนทำการพิมพ์ เพราะพลังงานผิวหลังจากผ่านการปรับสภาพจะค่อย ๆ ลดลง

การใช้ปากกาวัดค่าดาเยนเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกและมีราคาถูก วิธีใช้คือขีดเส้นขวางกับแผ่นพลาสติก ทิ้งไว้ 3 วินาที ถ้าเส้นหมึกที่ขีดไหลมารวมตัวกันเป็นหยด ๆ แสดงว่าพลังงานผิวมีค่าต่ำกว่าค่าของหมึกจากปากกาตัวที่ใช้ แต่ถ้าทิ้งไว้แล้วเส้นหมึกยังคงสภาพเดิมแสดงว่าค่าพลังงานผิวมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าของหมึกนั้น ปากกาที่ใช้มีหลายยี่ห้อ ตัวอย่างเช่น Vetaphones PRO-DYN test pen สามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 32-56 dyne/cm (32-56 mN/m) เป็นต้น



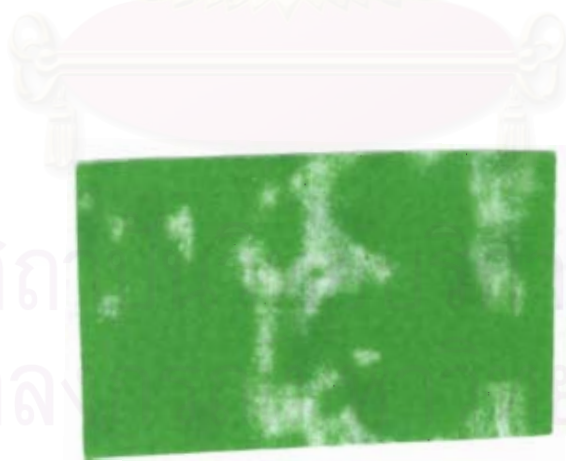
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างชิ้นงาน



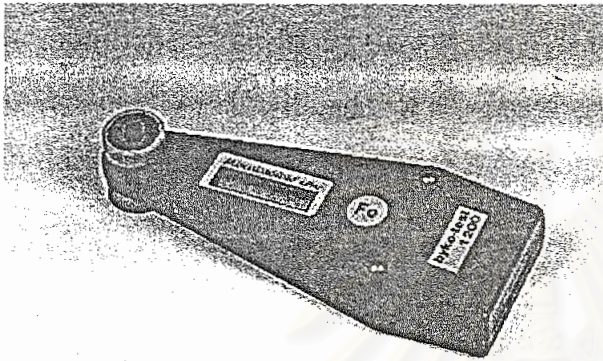
รูปที่ จ.1 ชิ้นงานที่มีการทำแห้งดี



รูปที่ จ.2 ชิ้นงานที่ทำแห้งไม่ดี เกิดปัญหาการยับหลัง

ภาคผนวก จ

เครื่องมือวัดความหนา



byko-test 1200

The byko-test 1200 is an affordable and accurate gage for measuring coatings applied to ferrous substrates, such as steel structures - the electronic banana gage.

- Used for measurements over ferrous substrates
- Simply place the instrument, push down and read
- Probe is built into the instrument - no cables or plugs

The unique design and duplex LCD display allow for measurements to be taken in areas that other integral probe gages are unable to reach. Readings may be automatically converted from mils to microns. Perform a zero point calibration either with the included zero test plate or on the test substrate.

Ordering Info

Cat. No.	Description	Price
GB-3692	byko-test 1200	540.00

Technical Specifications

<u>Range:</u>	0 - 80 mils (0 - 2000 μm)
<u>Resolution:</u>	0.01 to 10 mils; 0.1 to 80 mils (0.1 to 100 μm ; 1 to 2000 μm)
<u>Accuracy:</u>	$\pm 2\%$
<u>Tolerance:</u>	0.06 mils (1.5 μm)
<u>Minimum Sample Diameter:</u>	10 mm
<u>Operating Temperature:</u>	40 - 120 °F (5 - 50 °C)
<u>Dimensions:</u>	6.5 x 2.5 x 1.5 in (166 x 64 x 34 mm)
<u>Weight:</u>	0.3 lb (0.13 kg)

Comes complete with:

byko-test 1200
Certificate
Probe protection ring
9 V battery (included)
Carrying case with zero plate
Operating instructions

Copyright BYK-Gardner 2000

For comments about this site contact webmaster@bykgardnerusa.com

ภาคผนวก ข

การวัดการขีดถู

Illustrated is the ALL NEW
4-speed SUTHERLAND® 2000
Rub Tester.

Tester showing two-pound and four-pound weights to which test specimens are attached, the scoring device, and an optional heated weight. The receptacle is the same voltage as the instrument. 110 volts single phase is standard. 220 volts optional at extra cost.



Description:

The tester is a motor-driven instrument for moving a weighted test strip over a printed specimen through an arc. The SUTHERLAND Ink Rub Tester, the industry standard for decades, has recently undergone some significant changes to enhance its utility and reliability. Combined with a new ASTM (American Society for Testing and Materials) recommended practice for its use, the Tester is an excellent position to enjoy even more widespread use in the coming years. The result of this work is an affordable abrasion-testing instrument that retains all the features that made it an industry standard plus improvements that ensure it will remain the industry standard in the new millennium. The cover shows the new tester.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

In 1990 the stroke of the SUTHERLAND Ink Rub Tester was shortened, which increased the precision and more closely simulates abrasion damage found in the field. Research and other published work in the print-abrasion-testing arena have shown that quick strokes simulate some types of rub damage (most notably shipping damage). One of the biggest problems with the use of the Sutherland had been the lack of a well-publicized test procedure for its use. While a procedure is available with the instrument, there was no nationally available method that could be readily referenced. This has now been corrected with the introduction by ASTM of ASTM D-5264 D 92, Standard Practice for Abrasion Resistance of Printed Materials by the Sutherland Ink Rub Tester (copies available from ASTM). This method is spelled out the proper procedure for using the SUTHERLAND™ Tester. Included in this method is the recommendation to use standard Oreceptors of known abrasiveness when conducting a test.

The SUTHERLAND 2000 motor now has four speeds; the first speed (21 cycles per minute) is half the speed of the older models; which will make the wet tests, and tests using under 5 strokes easier to perform. The second speed (42 cycles per minute) and third speed (85 cycles per minute) are the same as the older models, while the fourth speed (106 cycles per minute) is faster. These new improvements will allow the customer the ability to customize the testing procedure more to their individual product, yet maintaining the ability of duplicating a procedure used by someone with an older model unit. The higher speeds will reduce the long test times needed for certain types of substrates (plastics, UV varnishes, printed films, etc.).

The SUTHERLAND 2000 incorporates a digital counter with a fiber optic sensor to ensure the accuracy of the number of rubs for a given test. Simply enter the number of rubs desired and the instrument will shut off automatically after the correct number of strokes. Changes to the control board programming will now allow the unit to stay on for 60 minutes before automatically turning off the LED display. Also, after the display has turned off, pressing any button will automatically display the last number of strokes entered, allowing time to record results without having to hold down the count button and reenter the strokes with each test.

A single mounting pad for the test strip is cut to fit the weight. It was found by using a two-inch (5cm) by four-inch (10cm) pad on the bottom of the weight that precision of the test increased. Two-pound and four-pound weights and scoring fixture are included.

A supply of 80 x 80 count bleached muslin cloth (cloth not included) has been found useful in testing wet smear, wet rub, and wet bleed.

Procedure for Operation of SUTHERLAND® 2000™ Rub Tester

The following tests may be made with the instrument:

- A. Dry Rub
- B. Wet Rub
- C. Wet Bleed or Transfer
- D. Wet Smear
- E. Functional Rub

Test Specimen

The test requires two pieces of stock, the test specimen and a test receptor. Cut a test specimen, approximately six by three inches. When printed area permits, the six-inch directions should be cut across the grain of the sheet, but must not cross pressed or cut scores.

Prepare test strips of material from the same shipment of stock used in the test sample. Cleanly cut 2x7 inch strips for the four-pound weight are prepared by placing the strip face down against the end pin of the scoring device and scoring at the white dot positions to facilitate bending the strip to conform to the test block.

To prepare samples for the two-pound weight, 2x5 1/4 inch strips are placed face down against the end pin of the scoring device and scored at the red dot position to facilitate bending the strip to conform to the test weight.

Operating Procedure

A. Dry Rub

Clip a 2x7 inch test strip to the four-pound test block, with the abrasive surface away from the rubber pads. Mount the test specimen securely (if printed material, mount with printed side up) on the rubber pad of the base plate.

Using a camel-hair brush, brush the test strip and the test specimen thoroughly before starting the test to remove any dust or foreign material. Place the weights over the sample, making sure that the 2x4 inch rubber pad of the test block is over the area being tested, that both surfaces are free of dirt. Preset the tester for ten strokes, or for any number of strokes selected as standard for a particular surface.

1. Plug in the power cord to the correct voltage, the display will read a version number such as 1-0. If the machine is already plugged in, touching any key will reactivate the display to whatever the previous setting was. For all speed 1, low count rub tests, cycle machine one time to allow the machine to reset for exact stroke.

2. **COUNT BUTTON.** Each time the COUNT button is pressed the displayed cycle counts will increase by one. When the COUNT button is held down, the counts will increase each 1/2 second. When the count reaches 10, it will start incrementing by 10's. When the count reaches 100 it will start incrementing by 100's. Anytime the button is released, the process will start over. (i.e. ones, tens, hundreds) While the motor is running the COUNT button is deactivated and count adjustments can not be made. Maximum count is 999. Press Reset to remove the count number readout. If the motor is running, pressing reset will also stop the motor and remove the count number to 000.

Note: When adjusting the cycle count, the displayed value is the starting point, not the cycle count previously set. If the cycle count is 100 and the motor is started and then stopped at 95, pressing the COUNT button will set the cycle count to 96.

3. **START AND STOP BUTTON.** This controls the starting and stopping of the motor. After the count has reached 0's, the motor will stop and after a short delay the display will reset back to the number that was displayed at the time of the last start cycle. If the motor is running when the START/STOP button is pressed, the motor will stop. The display is not cleared. Pressing START/STOP will start the motor again and the count will continue from the point at which the motor was stopped.

Note: The motor will not start if the display reads 0's.

4. **MOTOR SPEED BUTTON.** Pressing the SPEED button will increment the motor through speeds 1-4. The speed is indicated by one of the four LED's lights. The speeds available for testing are: Speed 1 (21 cycles per minute), Speed 2 (42 cycles per minute), Speed 3 (85 cycles per minute), and Speed 4 (106 cycles per minute). When the machine is first plugged in it will automatically default to slow speed (i.e. Speed 1) unless you press the SPEED button. The motor's speed may be changed at any time, before starting the motor or after it is running. The speed of the motor is retained when the Reset button is pressed, to change the speed press the SPEED button.

5. **RESET BUTTON.** This button will reset the count of the board. When pressed, the display will reset to 0's. If the motor is running, the motor will shut off. This button may be pressed at any time.

When the rub has been completed, examine both the test strips for signs of transfer. The two pieces should be stapled together and used for visual reference and interpretation. They should be marked plainly with the number of rubs given. Place the test block on its side after using; do not place it on the machine or lay it on the rubber base.

B. Wet Rub

Mount the strips in the same manner as for dry rubs, using the two-pound test block. Preset the tester for one rub. Place three to six drops of water on the printed surface

so that they will be covered by the test block. Place the block in position and immediately press the "start" button. After one stroke, examine both surfaces for color transfer. Repeat single strokes until ink failure is noted or the surface of the sample shows fuzz or abrasion.

C. Wet Bleed or Transfer

Mount a 2x5 1/4-inch strip on the two-pound test block with the felt or smooth side out, and saturate the blotter with water (an eyedropper is convenient). Place the wet blotter on the sample to be tested and leave in place for four minutes. Remove the block without rubbing and examine for ink transfer to the blotter.

D. Wet Smear

Use a water-saturated blotter on the two-pound block and actuate the tester for one stroke. Examine the blotter for color transfer. In cases where extreme water resistance is required, more rubs may be specified. An alternate procedure consists of mounting a 2x6-inch piece of 80x80-count bleached muslin on the two-pound test block over a blotter as specified above. This procedure has been found particularly useful since it eliminates the effects of surface abrasion on the blotting paper.

E. Functional Rub

Functional Rub is a term of embracing a number of miscellaneous uses for the SUTHERLAND Ink Rub Tester. An ink, which is acceptable under the outlined test procedures, may fail under exposure to foreign liquids or pastes. For example, certain inks might be tested to conform to specifications such as one rub, cod liver oil or three rubs, Jones Antacid Toothpaste.

In reporting functional rubs, the operator must specify the number of rubs, the time of contact before rubbing, and the special conditions and testing mediums employed.

Evaluation of Tests

A practical approach should be emphasized in test evaluation. Few, if any, inks will pass rubbing, wet or dry, without a slight transfer of color. Decisions on the suitability of ink are best made by running comparative tests, checking an acceptable sample at the same time and under the same conditions.

A quantitative method of evaluating samples for rub damage has been developed. The test strip (receptor) is measured (zeroed) with a densitometer or a spectrophotometer before the rub test. After the test, the strip is measured again with either the change in density (densitometer) or delta E (CIE L*a*b* spectrophotometer) reported. The larger the number, the greater the rub damage.

Consideration must be given to the time interval between printing and testing, particularly with slow-drying inks. Also, prints should be protected from dust and dirt between printing and testing.

An attempt should be made to use test samples which are representative of the run, i.e., eliminating the use of sheets with excessive anti-offset materials, or sheets taken from the top of a load which may have collected dust or foreign material.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไพรัชต์ สิทธิรัตนยืนยง เกิดวันที่ 23 กันยายน พ.ศ.2515 ที่อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2536 และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ในปีการศึกษา 2544 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย