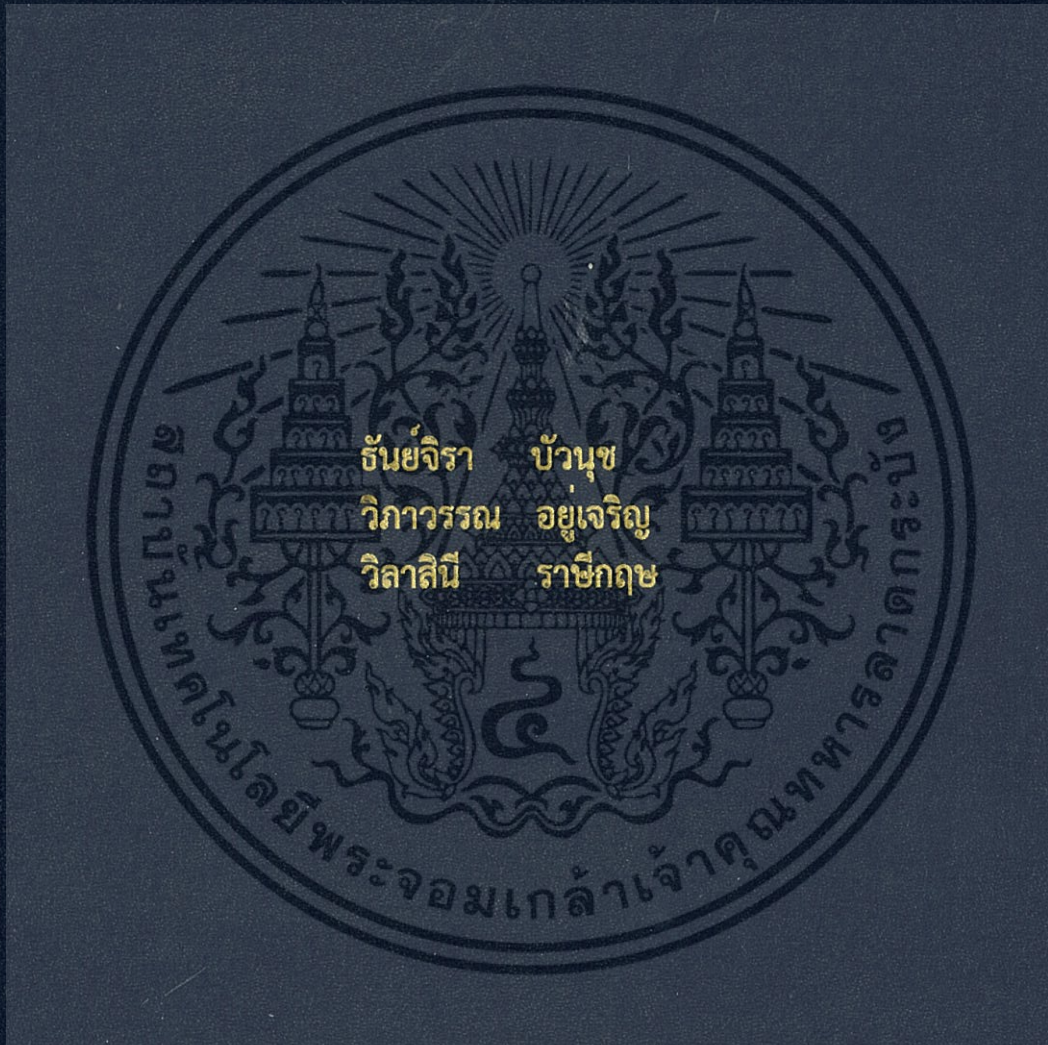


การพัฒนาหมึกพิมพ์เอทชิงฐานน้ำมันสำหรับภาพพิมพ์

DEVELOPMENT OF OIL BASED ETCHING PRINTING INK
FOR PRINTMAKING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาหมึกพิมพ์เอทชิงฐานน้ำมันสำหรับภาพพิมพ์

DEVELOPMENT OF OIL BASED ETCHING PRINTING INK
FOR PRINTMAKING



T149474



ฉันทย์จิรา บัวนุช
วิภาวรรณ อยู่เจริญ
วิลาลินี ราษีกฤษ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149474
รับ เดือน ปี... B. ส.ท. 2561

b. 12884947
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF OIL BASED ETCHING PRINTING INK FOR PRINTMAKING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาหมึกพิมพ์เอทชิงฐานน้ำมันสำหรับภาพพิมพ์
DEVELOPMENT OF OIL BASED ETCHING PRINTING INK
FOR PRINTMAKING

ชื่อนักศึกษา

นางสาวธัญจิรา บัวนุช รหัสนักศึกษา 56050504
นางสาววิภาวรรณ อยู่เจริญ รหัสนักศึกษา 56050604
นางสาววิลาสินี ราษีกฤษ รหัสนักศึกษา 56050606

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์วรา ชัยนิตย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	
ดร.การุณย์ สาดอ่อน กรรมการ	
ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
อาจารย์วรา ชัยนิตย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาหมึกพิมพ์เอทชิงฐานน้ำมันสำหรับภาพพิมพ์ DEVELOPMENT OF OIL BASED ETCHING PRINTING INK FOR PRINTMAKING		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวฉันทย์จิรา บัวนุช	รหัสนักศึกษา	56050504
	นางสาววิภาวรรณ อยู่เจริญ	รหัสนักศึกษา	56050604
	นางสาววิลาสินี ราษีกฤษ	รหัสนักศึกษา	56050606
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทธราช มนต์วิเศษ		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วรา ชัยนิตย์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เอทชิง (Etching) สำหรับงานพิมพ์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO) เป็นฐานหมึก ผสมร่วมกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber, ENR) เกรด ENR-25 โดยมีการใช้ น้ำมันลินสีด และน้ำมันทั้งเป็นสารช่วยในการเชื่อมโยงเกิดเป็นฟิล์ม เพื่อให้การยึดเกาะของเนื้อหมึกพิมพ์ดีขึ้น มีแว็กซ์ (waxes) เป็นสารเพิ่มความหนืด และเขม่าดำ (Carbon black) เป็นสารให้สี รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO) ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาให้เกิดการแห้งตัวของหมึกพิมพ์เร็วขึ้น จากนั้นนำไปถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทชิงแบบลดหลายต่าง ๆ และทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่าหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5), A15W3L1T1CD8(6.5) และสูตร A15W3T2CD8(6.5) ที่เตรียมได้ มีค่าความชื้นของเฉดสี และค่าความหนืดของหมึกพิมพ์เทียบเท่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ความสามารถในการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ และความคมชัดของลดหลายมีคุณภาพสูง ไม่มีรอยซึมของน้ำมันบนภาพพิมพ์ ไม่มีกลิ่น สามารถชะล้างออกได้ด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ และมีเสถียรภาพของอายุการใช้งานที่นาน แม้จะมีการยึดติดของหมึกพิมพ์ที่ต่ำ และใช้เวลาในการแห้งผิวนานกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แต่หมึกพิมพ์ที่เตรียมได้นี้สามารถนำมาใช้งานเป็นหมึกพิมพ์เอทชิงได้

คำสำคัญ : น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์, น้ำมันลินสีด, น้ำมันทั้ง, ยางธรรมชาติอีพอกไซด์, หมึกพิมพ์เอทชิง

Title	DEVELOPMENT OF OIL BASED ETCHING PRINTING INK FOR PRINTMAKING		
Student	Miss Thunjira Buanuch	Student ID 56050504	
	Miss Wipawan Yocharoen	Student ID 56050604	
	Miss Wilasinee Raseekrit	Student ID 56050606	
Degree	Bachelor of Science Industrial Chemistry		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst.Prof.Dr.Pathavuth Monvisade		
Co-advisor	Mr. Vara Chaiyanitaya		

Abstract

This special project studied on the preparation of etching inks for printmaking. The main component were epoxidized soybean oil as based ink mixed with epoxidized natural rubber (ENR) ENR-25 grade, Linseed oil or Tung oil as crosslinking film formation, wax as a thickener and carbon black as a pigment. The efficiency of benzoyl peroxide (BPO) as an initiator used to speed up the drying reaction of the ink was also evaluated. The prepared ink was tested by transferring it into the Farbrino etching paper with various etching techniques. The results showed that A15W3L1T1CD5(6.5), A15W3L1T1CD8(6.5) and A15W3T2CD8(6.5) gained comparable brightness value to commercial ink with similar viscosity. The high ability to transfer ink and high accuracy of printing pattern comparing with the pattern of plate were achieved. The expansion of oil on printing substrate after transferring was not appeared. In comparison with commercial ink, the better smell, easily to wash with aqueous cleaning liquid, and long shelf-life were achieved. Although, inferior adhesion and long drying time of the prepared inks were gained, these inks could potentially use as etching printing inks.

Keyword : Epoxidized soybean oil, Linseed oil, Tung oil, Epoxidized natural rubber, Etching Ink

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องการพัฒนาหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันสำหรับภาพพิมพ์ จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้หากขาดผู้สนับสนุนในการดำเนินโครงการ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทธารุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ แก้ไขเกี่ยวกับความรู้ อบรมให้ทำงานอย่างมีระเบียบแบบแผน พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือและตรวจทานตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้ ทำให้การจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้ศึกษาขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์วรา ชัยนิตย อาจารย์ผู้ชำนาญการด้านงานภาพพิมพ์ที่ช่วยให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ และ ดร.การุณย์ สาดอ่อน คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และเสนอแนะความคิดเห็นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ เขตลาดกระบัง ที่เอื้อให้สถานที่และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือสำหรับดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือฯ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ และทดสอบชิ้นงานต่าง ๆ ตลอดโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ และเพื่อน ๆ นักศึกษา ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจ จนการดำเนินโครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การศึกษาตลอดระยะเวลา 4 ปี และให้ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ และความรู้อันพึงมีจากโครงการพิเศษนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัวผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ศึกษาขอน้อมรับ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธันย์จิรา บัวนุช
วิภาวรรณ อยู่เจริญ
วิลาสินี ราชีกฤษ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานภาพพิมพ์ (Graphic arts หรือ Printmaking).....	4
2.1.1 ความหมายของภาพพิมพ์.....	4
2.1.2 ประเภทของภาพพิมพ์.....	4
2.2 หมึกพิมพ์.....	6
2.2.1 ประเภทของหมึกพิมพ์.....	6
2.2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์	6
2.2.2.1 น้ำมันวานิช (Varnishes).....	6
2.2.2.2 ผงสี (Pigments)	6
2.2.2.3 สารประกอบพวกแว็กซ์ (Waxes).....	7
2.2.2.4 ตัวทำละลาย (Solvents).....	7
2.2.2.5 สารทำแห้ง (Driers).....	7
2.2.2.6 สารเติมแต่ง (Additive).....	7
2.3 น้ำมัน (Oil)	8
2.3.1 องค์ประกอบน้ำมัน	8
2.3.2 กรดไขมัน.....	8
2.3.3 ชนิดของน้ำมัน	9
2.3.4 น้ำมันลินสีด (Linseed oil).....	10
2.3.4.1 สมบัติ และการใช้งานของน้ำมันลินสีด.....	10
2.3.5 น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO).....	12
2.3.5.1 ลักษณะทั่วไปของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์.....	13
2.3.5.2 สมบัติน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย AW.....	30
3.4.1 การเตรียมสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (สารละลาย A).....	30
3.4.2 การเตรียมสารละลายไวท์ปีส์แวกซ์ (สารละลาย AW).....	31
3.5 การบดผงเขม่าดำให้มีขนาดต่าง ๆ.....	32
3.6 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์	32
3.7 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเบื้องต้น	34
3.8 ขั้นตอนการพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคเอทชิง	34
3.8.1 การพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทพื้นราบโดยใช้แรงกด จากแท่นพิมพ์	34
3.8.2 การพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทร่องลึก	35
3.9 การทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์.....	37
3.9.1 การทดสอบการซึมของน้ำมันบนกระดาษ Farbrino etching.....	37
3.9.2 ทดสอบการแห้งตัวของหมึกพิมพ์	38
3.9.3 การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์.....	38
3.9.4 การวัดเฉดสีด้วยเครื่องวัดสี	38
3.9.5 การหาค่าความหนืด	39
3.9.6 การทดสอบความคมชัดของลวดลายเทียบกับแม่พิมพ์โลหะ	39
3.9.7 การตรวจวัดความสามารถในการชะล้าง	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	42
4.1 ผลของการละลายของสารในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO)	44
4.1.1 ความสามารถในการละลายของแวกซ์ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO).....	44
4.1.2 ความสามารถละลายของยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ในน้ำมัน ถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO)	45
4.1.3 ความสามารถในการละลายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในน้ำมันถั่วเหลือง อีพ็อกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO)	46
4.2 การผสมสูตรหมึกพิมพ์	46
4.2.1 การใช้ผงเขม่าดำที่ไม่ผ่านการบด (CO) ในการผสมสูตรหมึกพิมพ์	46
4.2.2 ผลของชนิดน้ำมันชักแห้ง	47
4.2.3 การลดขนาดเขม่าดำ ด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (แบบที่ 1).....	52
4.2.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ใน สูตรหมึกพิมพ์	53
4.2.5 ผลของปริมาณเขม่าดำในสูตรหมึกพิมพ์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.6 การเพิ่มปริมาณแร่กซในสูตรหมักพิมพ์.....	55
4.2.7 ผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำ.....	58
4.2.8 ผลของชนิดของน้ำมันชักแห้งต่อการแห้งตัวของหมักพิมพ์	66
4.3 ความสามารถในการละลายของหมักพิมพ์.....	66
4.4 การทดสอบอายุการใช้งานของหมักพิมพ์.....	67
4.5 ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง	68
4.6 การเปรียบเทียบสมบัติหมักพิมพ์ที่เตรียมขึ้น กับหมักพิมพ์เชิงพาณิชย์	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการวิจัย	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก.....	80
ภาคผนวก ข.....	82
ภาคผนวก ค.....	84
ภาคผนวก ง.....	87
ภาคผนวก จ.....	88
ภาคผนวก ฉ.....	89
ภาคผนวก ช.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว	8
2.2 โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว.....	9
2.3 สมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันลินสีด.....	10
2.4 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันลินสีด.....	11
2.5 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันถั่วเหลือง.....	12
2.6 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันทั้ง	15
2.7 การใช้งานทางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์.....	21
2.8 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่แตกตัวโดย ความร้อน	22
3.1 สมบัติของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์.....	27
3.2 สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์	27
3.3 สัญลักษณ์ และความหมายของสารละลายผสมระหว่างสารละลายยางธรรมชาติ อีพ็อกซีไดซ์กับไวท์บีสแวกซ์	31
3.4 อัตราส่วนผสมของหมึกพิมพ์.....	33
4.1 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายแวกซ์ชนิดต่าง ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 วัน และ 1 สัปดาห์.....	44
4.2 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์ชนิดต่าง ๆ เมื่อทำการตั้งทิ้งไว้ 1 วัน และ 1 สัปดาห์	45
4.3 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายยางธรรมชาติชนิดต่าง ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 3 วัน.....	45
4.4 ลักษณะเนื้อหมึก และอายุการใช้งานในการจัดเก็บของเนื้อหมึกสูตรต่าง ๆ.....	47
4.5 ผลระยะเวลากการแห้งตัวของหมึกพิมพ์	54
4.6 ปริมาณของเขม่าดำที่แตกต่างกัน.....	55
4.7 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้.....	55
4.8 ความหนืดของหมึกพิมพ์	56
4.9 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้.....	57
4.10 ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้อง Digital Light Microscope	58
4.11 ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM)	60
4.12 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้	61
4.13 เปอร์เซนต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_5) กับลวดลาย บนกระดาษ (D_p).....	62
4.14 ผลของความสามารถในการชะล้าง	66
4.15 ผลการทดสอบอายุการใช้งานของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์.....	68
4.16 เปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้สูตรต่าง ๆ กับสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-1 ปัญหาที่เกิดขึ้นของหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่เตรียมได้ และวิธีแก้ไข	80
ข-1 อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์ (หน่วยกรัม).....	82
ข-2 อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์ (เปอร์เซ็นต์).....	83
ค-1 ค่าขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้อง Digital Light Microscope.....	84
ค-2 ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM).....	86
จ-1 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ หลังการ ถ่ายโอน	88
ฉ-1 เปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_s) กับลวดลาย บนกระดาษ (D_p)	89



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพ Battle of the nudes ผลงานของอันโตนิโอ โปลลายูโอโล.....	4
2.2 ภาพแสดงน้ำหนักของเส้นตามความลึกด้วยการแช่น้ำกรดในระยะเวลาที่ต่างกัน	5
2.3 ระดับน้ำหนักของเทคนิค Aquatint.....	5
2.4 วิธีการทำภาพพิมพ์ศิลปะประเภทต่าง ๆ.....	5
2.5 กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	11
2.6 กรดไมริสติก (Myristic acid).....	11
2.7 กรดโอเลอิก (Oleic acid).....	11
2.8 กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid).....	12
2.9 กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid).....	12
2.10 กรดสเตียริก (Stearic acid)	13
2.11 ปฏิกริยาอ็อกซิเดชันบนพื้นระคู่ของน้ำมันถั่วเหลือง	13
2.12 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองอ็อกซิไดซ์ที่มีปริมาณอ็อกไซด์ 100 เปอร์เซ็นต์	13
2.13 กรดอีลีโอสเตียริก (Eleostearic acid).....	14
2.14 เมล็ดของต้นทัง และน้ำมันทังที่ใช้งาน	15
2.15 TEM Micrograph แสดงรูปร่างของเขม่าดำ (แห่งแสดงขนาด = 20 nm).....	16
2.16 สูตรโครงสร้างทั่วไปของแวกซ์	17
2.17 ลักษณะทางกายภาพของไวท์ปีส์แวกซ์.....	17
2.18 โครงสร้างของไวท์ปีส์แวกซ์.....	18
2.19 ลักษณะทางกายภาพของไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์	18
2.20 ลักษณะทางกายภาพของคาร์นูบาแวกซ์	18
2.21 โครงสร้างของคาร์นูบาแวกซ์.....	19
2.22 ลักษณะทางกายภาพของพาราฟินแวกซ์.....	19
2.23 โครงสร้างของพาราฟินแวกซ์แบบต่าง ๆ.....	19
2.24 โครงสร้างของยางธรรมชาติแบบ cis-1,4-polyisoprene.....	20
2.25 กระบวนการผลิตยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์.....	21
2.26 ปฏิกริยาการแตกตัวของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์	22
2.27 ประเภทการแห้งตัวของหมึกพิมพ์แบบต่าง ๆ	23
3.1 แม่พิมพ์โลหะ Hard ground	28
3.2 แม่พิมพ์โลหะ Aquatint แบบที่ 1 (ก), แบบที่ 2 (ข) และ แบบที่ 3 (ค).....	29
3.3 แท่นพิมพ์เอทซิ่ง	29
3.4 แผ่นใสช่องว่างขนาด 1x3 ตารางเซนติเมตร	34
3.5 กระดาษอาร์ตมันหนา 400 แกรมที่มีผิวมัน	34
3.6 การกลึงหมึกพิมพ์ลงบนแม่พิมพ์กระดาษ	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 ภาพพิมพ์ประเภทพื้นราบ	35
3.9 การอุดหมึกลงในแม่พิมพ์	36
3.10 ส่วนที่หมึกพิมพ์อยู่ในร่องของแม่พิมพ์	36
3.11 ภาพพิมพ์ที่ได้ตามลักษณะของแม่พิมพ์แบบ Hard ground	36
3.12 ภาพพิมพ์ที่ได้ตามลักษณะของแม่พิมพ์แบบ Aquatint แบบที่ 1 (ก), แบบที่ 2 (ข) และแบบที่ 3 (ค)	37
3.13 ลักษณะการซึมของน้ำมันบนกระดาษ	37
3.14 การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์	38
3.15 การทดสอบความหนืด	39
3.16 ตำแหน่งของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะที่ใช้ตรวจสอบความคมชัด	40
3.17 ขั้นตอนทดสอบความสามารถในการชะล้าง	41
4.1 สัญลักษณ์ของสูตรหมึกพิมพ์	42
4.2 ภาพพิมพ์แบบพื้นราบของสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก) เทียบกับสูตรหมึกพิมพ์ A10W1L2CO(1.7)B (ข)	47
4.3 ผลการหลุดของเขม่าดำของสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A10W1L2CM(1.7)B (ข) และสูตร A10W1T2CM(1.7)B (ค)	48
4.4 ตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่เกิดชั้นฟิล์มบนผิวหมึกพิมพ์ (ก) และไม่เกิดชั้นฟิล์มบนผิว หมึกพิมพ์ (ข)	49
4.5 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว	49
4.6 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว	50
4.7 ภาพพิมพ์พื้นราบของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A10W1L2CM(1.7)B (ข) และสูตร A10W1T2CM(1.7)B (ค)	51
4.8 ภาพพิมพ์เทคนิคภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 1) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A10W1L2CM(1.7)B (ข) และสูตร A10W1T2CM(1.7)B (ค)	51
4.9 ลักษณะการซึมของน้ำมันหลังการปาดหมึกพิมพ์	52
4.10 ตัวอย่างภาพถ่ายการซึมของสูตรหมึกพิมพ์ที่มีการซึม (ก) และไม่ซึม (ข) ด้านหลังกระดาษ	53
4.11 ลักษณะของเนื้อหมึกที่ไม่เกาะแม่พิมพ์ (ก) และเกาะแม่พิมพ์ (ข)	53
4.12 ภาพพิมพ์ที่ไม่มีรอยเปื้อน (ก) และภาพพิมพ์ที่มีรอยเปื้อน (ข)	53
4.13 การทดสอบความสามารถการถ่ายโอนความละเอียดของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), หมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CB8(6.5) (ข)	56
4.14 ความคมชัดของลวดลายภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 3) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก) เทียบกับสูตร A15W3L1T1CB8(6.5) (ข)	57
4.15 ตัวอย่างภาพถ่ายอนุภาคของผงเขม่าดำ CD8	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 สัณฐานวิทยาของตัวอย่างผงเขม่าดำ ดังนี้ ผงเขม่าดำ CO (ก), ผงเขม่าดำ CM (ข), ผงเขม่าดำ CB8 (ค), ผงเขม่าดำ CD5 (ง) และผงเขม่าดำ CD8 (จ).....	59
4.17 การทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนความละเอียดของหมึกพิมพ์ สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) (ก) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) (ข).....	61
4.18 ความคมชัดของลวดลายภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 3) ของหมึกพิมพ์ สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) (ก) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) (ข).....	62
4.19 ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (D _p) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	63
4.20 ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (D _p) ของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5).....	64
4.21 ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (D _p) ของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD8(6.5).....	65
4.22 ตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่สามารถล้างด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้.....	67
4.23 ตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่ไม่สามารถล้างด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้.....	67
4.24 ภาพลวดลายของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) (ข), สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) (ค) และสูตร A15W3T2CD8(6.5) (ง).....	69
ง-1 ภาพแสดงขนาดอนุภาคตัวอย่างของเขม่าดำตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ชนิดดิจิทัล (Digital Light Microscope) กำลังขยาย 500x	87
ช-1 ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบพื้นราบของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ	90
ช-2 ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบ Hard ground ของหมึกพิมพ์ สูตรต่าง ๆ.....	91
ช-3 ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบ Aquatint (แบบที่ 1 และแบบที่ 2) ของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ.....	92

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ENR-25	ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxydized natural rubber, ENR) : เกรด Epoxyprrene 25
STR 5L	ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) : ยางแท่ง เกรด STR 5L
ESO	น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxydized soybean oil)
BPO	เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide)
A	การเตรียมสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์
AW	การเตรียมสารละลายไวท์ปีสส์แร็กซ์
B	เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide)
L	น้ำมันลินสีด (Linseed oil)
T	น้ำมันทัง (Tung oil)
CO	ผงเขม่าดำ ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด
CM	ผงเขม่าดำ ที่บดด้วยโกร่งบดสาร (Mortar)
CB	ผงเขม่าดำ ที่บดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (Ball mill) (แบบที่ 1)
CD	ผงเขม่าดำ ที่บดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (Ball mill) (แบบที่ 2)
% ΔD_{SP}	เปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_S) กับ ลวดลายบนกระดาษ (D_P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ศิลปะภาพพิมพ์เป็นผลงานที่เกิดจากการใช้แรงกดของแท่นแม่พิมพ์ชนิดต่าง ๆ เช่น แม่พิมพ์ไม้ แม่พิมพ์โลหะ หรือแม่พิมพ์อื่น ๆ แล้วทำให้เกิดภาพ หรือลวดลายลงบนกระดาษซึ่งภาพพิมพ์ที่นิยมนำมาสร้างสรรค์เป็นผลงานมีหลากหลายประเภท โดยในแต่ละประเภทใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน หนึ่งในนั้นคือ ประเภทภาพพิมพ์ลักษณะร่องลึก (Intaglio process) โดยใช้เทคนิคแม่พิมพ์โลหะ (The intaglio technique) หรือเทคนิคเอตซิง (Metal etching) [1-2]

สำหรับเทคนิคเอตซิงที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำมัน หากมีการใช้หมึกพิมพ์ที่มีตัวทำละลายที่เป็นพิษ และเป็นหมึกพิมพ์ที่มีส่วนผสมของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว พรอท แคดเมียม โครเมียม เป็นต้น โลหะเหล่านี้จะฟุ้งกระจาย และตกค้างอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลานาน รวมถึงการใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำมัน การทำความสะอาดอุปกรณ์หลังการใช้งานมีความยุ่งยาก จึงนิยมใช้น้ำมันสนในการทำความสะอาดอุปกรณ์การพิมพ์ ซึ่งน้ำมันสนเป็นสารระเหยที่มีกลิ่น และมีความเป็นพิษ เมื่อมีการสูดดมน้ำมันสนเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดการระคายเคืองของหลอดลม มีผลต่อระบบประสาท ทำให้เซลล์สมองเสื่อม และเมื่อสัมผัสทำให้เกิดการระคายเคืองที่ผิวหนัง ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ [3]

โดยงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำน้ำมันถั่วเหลืองอิพ็อกซิไดซ์มาเป็นส่วนผสมในการเตรียมสูตรหมึกพิมพ์เอตซิงฐานน้ำมัน เนื่องจากปัจจุบันได้มีการผลิตหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันโดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง (Soy ink) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันที่มีขายทั่วไป โดยแตกต่างกันตรงส่วนประกอบที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่สกัดจากธรรมชาติ ใส ไม่มีสารพิษ และเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ซึ่งหมึกพิมพ์น้ำมันถั่วเหลืองได้รับการยอมรับมากขึ้น เพราะมีส่วนผสมของสารระเหยต่ำ ช่วยให้มีพิษทางอากาศลดน้อยลง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยให้การนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ทำได้ง่ายขึ้นในกระบวนการแยกหมึกออกจากสิ่งพิมพ์ และหมึกพิมพ์ถั่วเหลืองยังมีราคาต่ำกว่าหมึกฐานน้ำมันปิโตรเลียม เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีราคาถูกจึงช่วยลดต้นทุนในการผลิต ด้วยจุดนี้เองทำให้หมึกถั่วเหลืองกลายเป็นคู่แข่งสำคัญกับหมึกฐานน้ำมันปิโตรเลียม [4-5] อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันถั่วเหลืองที่เริ่มมีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เป็นหมึกพิมพ์ที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ และมีราคาสูง นอกจากนี้ยังมีกลิ่นเหม็น และมีข้อด้อยในการชะล้างทำความสะอาดอุปกรณ์หลังการใช้งาน บางครั้งจึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันสนในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการพัฒนาหมึกพิมพ์เอตซิงฐานน้ำมัน โดยมีองค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลือง-อิพ็อกซิไดซ์เป็นฐานหมึก ผสมร่วมกับยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ เกรด ENR-25 ซึ่งสามารถเกิดเป็นฟิล์มเพื่อช่วยการยึดเกาะของเนื้อหมึกให้ดีขึ้น โดยมีการใช้น้ำมันลินสีด และน้ำมันทังเป็นส่วนผสม เพื่อให้หมึกเกิดการแห้งตัวได้เร็วขึ้น ผสมแว็กซ์ เพื่อปรับความหนืด อีกทั้งศึกษาการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO) เพื่อช่วยเร่งการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ และใช้เขม่าดำ (Carbon black) เป็นสารให้สีดำ โดยหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีสมบัติในการยึดติดสีได้ดี ไม่มีกลิ่นฉุน ล้างออกได้ง่าย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีสมบัติเทียบเท่ากับ หรือใกล้เคียงหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันเชิงพาณิชย์

เอกสารช่วยลดต้นทุนการผลิต และสามารถหาวัตถุดิบธรรมชาติได้จากภายในประเทศนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่สามารถทำความสะอาดชะล้างโดยใช้น้ำยาซักล้างสูตรน้ำ แทนการใช้น้ำมันสน
- 2) เพื่อพัฒนาหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน และลดปริมาณกลิ่นที่เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาผลของการละลายของสารในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ ได้แก่
 - ไวท์บีส์แว็กซ์ (White bees wax, BW)
 - ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ (Microcrystalline wax)
 - คาร์นูบาแว็กซ์ (Carnauba wax)
 - พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax)
 - ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) : เกรด STR 5L
 - ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized natural rubber, ENR) : เกรด ENR-25
 - เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO)
- 2) เตรียมสารละลายของวัตถุดิบ
 - สารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized natural rubber, ENR) : เกรด ENR-25
 - สารละลายไวท์บีส์แว็กซ์ (White Bees wax, BW)
- 3) เตรียมสูตรหมึกพิมพ์โดยใช้วัตถุดิบ ดังนี้
 - น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxydized soybean oil, ESO)
 - ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized natural rubber, ENR) : เกรด ENR-25
 - น้ำมันลินสีด (Linseed oil)
 - น้ำมันทัง (Tung oil)
 - ไวท์บีส์แว็กซ์ (White bees wax, BW)
 - ผงเขม่าดำ (Carbon black, CB) : เกรดการค้า
 - เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO)
- 4) เตรียมแม่พิมพ์แผ่นโลหะสวดลายด้วยเทคนิคการพิมพ์แบบเอทซึ่ง
- 5) การทดสอบการพิมพ์หมึกบนกระดาษ
- 6) ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมัน ได้แก่
 - การทดสอบการซึมของน้ำมันบนกระดาษ Farbrino etching
 - การทดสอบการแห้งตัวของหมึกพิมพ์
 - การยึดติดของหมึกพิมพ์
 - การวัดแรงตึงผิวด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน ASTM D-1925
 - ความหนืดของเนื้อหมึกด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer
 - ความคมชัดของสวดลาย
 - ความสามารถในการชะล้างด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเตรียมหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน และสามารถชะล้างออกได้โดยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้
- 2) สามารถลดต้นทุนในการผลิตหมึกพิมพ์ และลดการนำเข้าของหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันจากต่างประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานภาพพิมพ์ (Graphic arts หรือ Printmaking)

2.1.1 ความหมายของภาพพิมพ์

ภาพพิมพ์ หมายถึง การทำให้เกิดร่องรอยด้วยการกดเพื่อสร้างภาพบนวัสดุพื้นเรียบซึ่งเป็นศิลปะสาขาหนึ่งทางทัศนศิลป์ (Visual arts) เป็นผลงานที่มีลักษณะ 2 มิติ มีความกว้าง และยาว ส่วนมิติความลึกปรากฏในลักษณะลวดตา โดยวิธีการพิมพ์ให้เป็นรูปทรงลักษณะต่าง ๆ จากวัสดุชิ้นหนึ่งไปปรากฏร่องรอยบนวัสดุอีกชิ้นหนึ่ง ภาพพิมพ์มีกรรมวิธีทางเทคนิคที่มีลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละเทคนิคนั้น ๆ ซึ่งในงานภาพพิมพ์ได้แบ่งเทคนิคแต่ละเทคนิค ดังนี้ เทคนิคภาพพิมพ์ไม้ (Wood cut), เทคนิคภาพพิมพ์โลหะ (Intaglio), เทคนิคภาพพิมพ์หิน (Lithograph) และเทคนิคภาพพิมพ์ตะแกรงไหม (Silk screen) ซึ่งจะได้ภาพที่เกิดจากแม่พิมพ์ที่เหมือนกันตามจำนวนชิ้นผลงานที่ต้องการ [1]

2.1.2 ประเภทของภาพพิมพ์

ในงานภาพพิมพ์มักแบ่งประเภทตามลักษณะกรรมวิธีในการสร้างแม่พิมพ์ มีอยู่ 4 วิธี [2] คือ

1. ภาพพิมพ์จากแม่พิมพ์ลักษณะพื้นราบ (Planographic process) คือ ภาพพิมพ์แม่พิมพ์หินเป็นกระบวนการพิมพ์ที่พิมพ์จากพื้นแบนราบ ส่วนที่ต้องการพิมพ์จะเป็นแว็กซ์ หรือน้ำมัน แต่อีกส่วนที่ไม่ต้องการพิมพ์จะชุ่มด้วยน้ำ เมื่อกำลังหมึกซึ่งเป็นแว็กซ์ผ่านไปบนแม่พิมพ์ หมึกจะติดลงบนส่วนที่เป็นแว็กซ์ของแม่พิมพ์เท่านั้นเกิดเป็นลวดลายต่าง ๆ

2. ภาพพิมพ์จากแม่พิมพ์ลักษณะพื้นนูน (Relief process) สร้างแม่พิมพ์โดยการแกะให้เป็นร่องลึกเข้าไป และใช้ผิวบนของส่วนนูนเป็นที่สร้างให้เกิดรูป ใช้ลูกกลิ้งหมึกผ่านไปบนแม่พิมพ์ หมึกจะติดเฉพาะส่วนนูนเท่านั้น แล้วใช้กระดาษทาปิดลงไปบนแม่พิมพ์ และกดอัดด้วยแท่นพิมพ์เกิดเป็นรูปขึ้นมา

3. ภาพพิมพ์จากแม่พิมพ์ลักษณะร่องลึก (Intaglio process) คือ การใช้แม่พิมพ์ที่เป็นโลหะ เช่น ทองแดง สังกะสี หรือเรียกได้ว่าเทคนิคภาพพิมพ์โลหะ (Etching) โดยนำแม่พิมพ์มาเคลือบด้วยวานิชดำซึ่งกันน้ำกรดได้ แล้วขีดเขียนทำลวดลายลงไปเพื่อเปิดผิวหน้าแม่พิมพ์ จากนั้นนำแม่พิมพ์ลงไปแช่ในอ่างน้ำกรด แล้วล้างด้วยน้ำ จึงล้างวานิชดำออก นำแม่พิมพ์ไปอุดหมึกพิมพ์ เช็ดหมึกในส่วนที่ไม่ต้องการของผิวหน้าแม่พิมพ์ออก คงเหลือไว้แต่หมึกพิมพ์ที่ฝังอยู่ในร่องลึกเท่านั้น



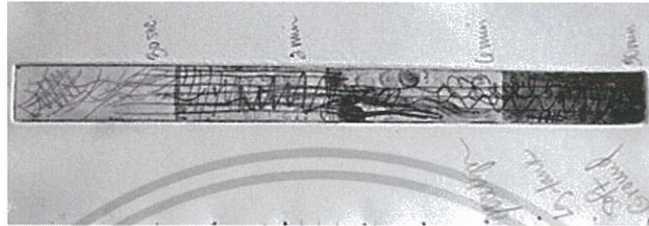
รูปที่ 2.1 ภาพ Battle of the nudes ผลงานของอันโตนิโอ โปลลาญูโอโล [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำไปพิมพ์ลงบนกระดาษที่เตรียมไว้ผ่านแรงกดของแท่นพิมพ์ กระดาษพิมพ์ที่ขึ้นจะลงไปจับหมึกในร่องลึกของแม่พิมพ์ขึ้นมาปรากฏเป็นภาพที่ต้องการ แบ่งได้เป็น

- ภาพพิมพ์โลหะร่องลึกเทคนิคกัดกรดบนพื้นแข็ง (Hard ground)

เป็นวิธีการสร้างแม่พิมพ์โดยใช้เหล็กแหลมขูดขีดเพื่อเปิดวานิชที่ปิดหน้าเพลทแม่พิมพ์ให้เกิดเส้น หรือร่องรอย โดยเส้นที่ยิ่งใช้เวลาในการแช่น้ำกรดนาน จะเกิดเส้นที่มีความลึกมาก เก็บหมึกพิมพ์ได้มาก เมื่อพิมพ์เป็นภาพจะได้เส้น หรือร่องรอยที่มีน้ำหนักเทาเข้มจนถึงดำสนิท [6]



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงน้ำหนักของเส้นตามความลึกด้วยการแช่น้ำกรดในระยะเวลาที่ต่างกัน [6]

- ภาพพิมพ์โลหะร่องลึกแบบลวดลายความละเอียดสูง (Aquatint)

เป็นเทคนิคสร้างค่าน้ำหนักอ่อนแก่ได้หลายระดับ โดยแม่พิมพ์จะถูกโรยด้วยเม็ดยางสน (Dragon brush) ที่ละเอียด นำแม่พิมพ์ไปผ่านความร้อนเพื่อให้เม็ดยางสนยึดเกาะผิวหน้าของแม่พิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำกรด น้ำกรดจะกัดเจาะเฉพาะบริเวณรอบ ๆ ของเม็ดยางสน หรือบริเวณช่องว่างของเม็ดยางสนบนแม่พิมพ์ เกิดเป็นร่องเพื่อเก็บหมึกพิมพ์ [6]



รูปที่ 2.3 ระดับน้ำหนักของเทคนิค Aquatint [6]

4. ภาพพิมพ์จากแม่พิมพ์ลักษณะพื้นฉลุ (Stencil process) คือ การสร้างแม่พิมพ์ให้เป็นลายฉลุโดยหมึกพิมพ์สามารถลอดผ่านลายฉลุได้ มักใช้การพิมพ์ทับกันหลาย ๆ ครั้งผลงานจึงสมบูรณ์ ใช้กาวยึดเป็นตัวกั้นที่บริเวณส่วนที่ไม่ต้องการแสดงภาพ เช่น Silk screen เป็นต้น [6]

Ways of Making Fine Art Prints



■ INK

รูปที่ 2.4 วิธีการทำภาพพิมพ์ศิลปะประเภทต่าง ๆ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งการขโมยหรือการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หมึกพิมพ์

2.2.1 ประเภทของหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์ (Based ink) เป็นส่วนสำคัญที่สุดในการพิมพ์ทุกระบบ หมึกพิมพ์มีอยู่หลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการพิมพ์บนวัสดุต่าง ๆ เช่น ไม้ กระดาษ ผ้า โลหะ พลาสติก กระຈก หรือแผ่นวงจรไฟฟ้า ฯลฯ ดังนั้นผู้พิมพ์ต้องเลือกใช้หมึกพิมพ์ให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับชนิด หรือประเภทของวัสดุชิ้นงาน หมึกพิมพ์สามารถจำแนกตามชนิด และสมบัติได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. หมึกพิมพ์ใช้น้ำ (Water-based ink)
2. หมึกพิมพ์ใช้น้ำมัน (Solvent-based ink)
3. หมึกพิมพ์พลาสติกซอล (Plastisol ink)
4. หมึกพิมพ์ใช้ยูวี (UV-based ink)

2.2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์ที่ใช้ในภาพพิมพ์เอทซึ่งที่มีคุณภาพที่ดี เป็นของผสมที่บดจนละเอียด ผสมกันจนเป็นเนื้อเดียวระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

2.2.2.1 น้ำมันวานิช (Varnishes) มีลักษณะเป็นน้ำมันข้น หรือใส เป็นตัวกลาง

ช่วยพาให้ผงสีเคลือบที่ เมื่อแห้งจะแข็งเป็นฟิล์มเคลือบรอบผงสี น้ำมันวานิชประกอบด้วย

1. น้ำมันชักแห้ง (Drying oils) คือ น้ำมันที่เมื่อทาเป็นฟิล์มบาง ๆ แล้วจะจับกับออกซิเจนจากอากาศแล้วเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นฟิล์มที่แห้ง และแข็ง ได้แก่ น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง น้ำมันมะเดื่อ เป็นต้น

2. เรซิน (Resins) เป็นพอลิเมอไรท์ที่มีลักษณะโปร่งใส ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างฟิล์มยึดผงสี และสารต่าง ๆ ในเนื้อสีให้ติดวัสดุพิมพ์ แบ่งเป็น

- เรซินที่ได้จากพืช และสัตว์ เช่น น้ำมันถั่วเหลืองที่ปรับสภาพด้วยความร้อน เป็นเรซินประเภท Alkyd resin, เรซินที่ได้จากมูลของครั่ง (Shellac) เป็นต้น

- เรซินที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดิบ เช่น Acrylic resin, Polyvinyl acetate copolymer (PVAC) เป็นต้น

ซึ่งในอุตสาหกรรมสีสามารถแบ่งเรซินตามการละลายได้ 2 ประเภท

- ประเภทละลาย หรือกระจายตัวในน้ำได้ (Water base binding agent) มีสมบัติละลาย หรือกระจายตัวได้ในน้ำ นิยมใช้กับสีอาคารที่เรียกว่า สีน้ำ หรือสีพลาสติก ตัวอย่างเช่น Latex, Vinyl acetate resins, Acrylic resins, Polyvinyl acetate copolymer เป็นต้น

- ประเภทละลายได้ในน้ำมัน (Oil base binding agent) มีสมบัติละลายได้ในน้ำมัน นิยมใช้กับสีทาอาคารบ้านเรือน เรียกว่า สีน้ำมัน ตัวอย่างเช่น Alkyl resins, Melamine resins, Epoxy resins, Formaldehyde resins, Hydrocarbon resins เป็นต้น

2.2.2.2 ผงสี (Pigments) เป็นผงของแข็งซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลาย โดยผงสีที่นำไปใช้งานได้ดีต้องมีสมบัติทำให้เกิดสี หรือปกปิดสีเดิมของผิวหน้าได้ ดังนั้นก่อนที่จะเอาผงสีมาใช้ ต้องรู้สมบัติดังต่อไปนี้ของผงสี ได้แก่

สมบัติของผงสี

1. ขนาดของอนุภาค (Particle size) ผงสีมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน และขนาดของอนุภาคผงสีจะเป็นค่าเฉลี่ย ผงสีที่มีขนาดเหมาะสมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2-0.4 ไมโครเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดอนุภาคจะสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวหน้า (Surface) กล่าวคือ ผงสีซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ส่วนที่สำคัญที่สุดของอนุภาคผงสี คือ พื้นที่ผิว โดยที่พื้นที่ผิวผงสีมีหมู่ฟังก์ชันซึ่งสัมผัสได้กับหมู่ฟังก์ชันของน้ำมัน หรือสารยึด ถ้าหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวผงสีรวมตัวกันจะทำให้อนุภาคผงสีจับตัวเป็นก้อน เกิดการจับตัว กระจายตัวได้ยาก

2. รูปร่างของอนุภาค (Particle shape) รูปร่างอนุภาคมีผลต่อการจัดเรียงตัว (Pack) ของผงสี จึงมีผลต่อความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของผงสีด้วย เช่น ผงสีที่มีอนุภาคหยาบ จะช่วยให้การเคลือบในชั้นต่อไปทำได้ดีขึ้น อนุภาครูปคล้ายเข็ม หรือแท่งสามารถเสริมแรงได้ อนุภาคแผ่นบาง ๆ จะทนน้ำ และความชื้นได้ เป็นต้น

ประเภทของผงสี

1. ผงสีอนินทรีย์ (Inorganic pigments)

ผงสีอนินทรีย์มีความคงทนต่อแสง ทนต่อการครูด มีเสถียรภาพทางความร้อน แต่บดให้ละเอียดได้ยาก สีไม่สดใส ความเข้มของสีต่ำ เหมาะสำหรับทำสีขาว และสีดำ ไม่เกิดการคายสี แบ่งประเภทได้เป็น Earth pigments, Mineral pigments, ผงสีอนินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic inorganic pigments) และผงสีโลหะ (Metallic pigments) เป็นต้น

2. ผงสีอินทรีย์ (Organic pigments)

ผงอินทรีย์ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสีเข้มสามารถบดง่าย และมีสมบัติการพิมพ์ที่ดี แต่ไม่ทนแสง และจะแยกตัวออกมาในตัวทำละลายได้ แบ่งประเภทได้เป็น Pigments dyestuffs, โทเนอร์ (Toner pigments) และแลก (Lake pigments) เป็นต้น

3. ผงสีสีดำ (Black pigments)

แบ่งประเภทได้ 3 ประเภท ได้แก่ คาร์บอนแบล็ก (Carbon black), แลมพ์แบล็ก (Lampblack) และโบนแบล็ก (Boneblack)

2.2.2.3 สารประกอบพวกแว็กซ์ (Waxes) ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มสมบัติการไหลของหมึกพิมพ์ เพิ่มความหนานของผิวหมึกต่อการขัดสี ช่วยป้องกันการขีดหลัง และไม่ให้แผ่นกระดาษซ้อนติดกันในกองกระดาษ ได้แก่ ขี้ผึ้ง แว็กซ์ประเภทอื่น ๆ เช่น พาราฟินแว็กซ์ คาร์บูบาแว็กซ์ เป็นต้น

2.2.2.4 ตัวทำละลาย (Solvents) ทำหน้าที่ละลายน้ำมันวานิช แว็กซ์ และส่วนประกอบอื่น ๆ ของหมึกพิมพ์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และจะระเหยออกเมื่อก่อตัวเป็นฟิล์ม ตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกพิมพ์มักได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียม หมึกพิมพ์ต้องไม่ใช่ตัวทำละลายมากนักเพราะสามารถลดความหนืดของหมึก ทำให้หมึกเหลว ไม่ควรมีสี และกลิ่น ไม่ควรเลือกตัวทำละลายที่มีอัตราการระเหยสูง เพราะแม้แห้งตัวเป็นฟิล์มเร็ว แต่ฟิล์มอาจเกิดข้อบกพร่องได้ เช่น เกิดความดัน จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม เช่น แอลกอฮอล์ (Alcohols), เอสเทอร์ (Esters), ไกลคอล อีเทอร์ (Glycol ethers), คีโตน (Ketone), โทลูอิน (Toluene), น้ำมันสน (Turpentine) และเฮกเซน (Hexane) เป็นต้น

2.2.2.5 สารทำแห้ง (Driers) จัดอยู่ในประเภทตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) การรวมตัวกันของโมเลกุลของน้ำมันชักแห้ง เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น เช่น สารประกอบของโคบอลต์ แมงกานีส และตะกั่ว เป็นต้น แต่ปัจจุบันเลิกใช้สารประกอบเหล่านี้แล้วเนื่องจากมีความเป็นพิษ

2.2.2.6 สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่เติมเข้าไปในหมึกเพื่อทำให้สมบัติบางอย่างดีขึ้น หรือปรับหมึกพิมพ์ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น Plasticizer [7-8]

2.3 น้ำมัน (Oil)

ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมของวานิช หรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อวัตถุประสงค์หลายประการ เช่น เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวของฟิล์มทำให้ไม่เปราะ ช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย ฯลฯ

น้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ น้ำมันพืช (Vegetable oil) และน้ำมันจากทะเล (Marine oil) ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันปลา (Fish oil)

2.3.1 องค์ประกอบน้ำมัน

น้ำมันเป็นสารไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กล่าวคือ เป็นไตรเอสเทอร์ของกลีเซอรอล (Glycerol) กับกรดไขมัน (Fatty acid)



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นหากไฮโดรไลซ์ (Hydrolyze) น้ำมัน จะได้กลีเซอรอล และกรดไขมัน

ไขมัน (Fat) จัดเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์เหมือนกัน แต่ไขมันต่างจากน้ำมันตรงที่ไขมันมีลักษณะเป็นของแข็ง แต่น้ำมันมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง [7]

2.3.2 กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดที่ได้จากน้ำมัน ซึ่งสมบัติของน้ำมันขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลที่มีอยู่ในกรดไขมัน โดยชนิดของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมันมีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน

กรดไขมันเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ต่ออยู่กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon chain) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 9 ถึง 22 อะตอม แต่โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม [9]

กรดไขมัน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างส่วนไฮโดรคาร์บอน โดยคาร์บอนแต่ละตัวบนสายโซ่จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว เนื่องจากไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในโครงสร้างจะมีสมบัติไม่แห้งตัว ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) เป็นต้น โครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว [10] แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว [11-12]

Common Name	Systematic Name	Structure	Melting Point (°C)
Lauric acid	Dodecanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44.2
Myristic acid	Tetradecanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	52.0
Palmitic acid	Hexadecanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63.1
Stearic acid	Octadecanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.6
Arachidic acid	Eicosanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75.4
Behenic acid	Docosanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	81.0
Lignoceric acid	Tetracosanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	84.2

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป กรดไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามจำนวน และตำแหน่งของพันธะคู่ ยิ่งมีพันธะคู่มาก การแห้งตัวจะยิ่งเร็วขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ภายในโมเลกุลของกรดไขมัน นอกจากนี้ตำแหน่งพันธะคู่มีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน ถ้ามีพันธะคู่สลับเดี่ยว (Conjugate) จะเกิดปฏิกิริยา และแห้งตัวได้เร็วกว่าพันธะคู่ที่อยู่ห่างกัน (Non-conjugate) โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว [13] แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว [11-12]

Common Name	Systematic Name	Structure	Melting Point (°C)
Palmitoleic acid	9-Hexadecenoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-0.5
Oleic acid	9-Octadecenoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13.4
Linoleic acid	9,12-Octadecadienoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-9.0
α -Linolenic acid	9,12,15-Octadecatrienoic acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-17.0
γ -Linolenic acid	6,9,12-Octadecatrienoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	-11.0
Arachidonic acid	5,8,11,14-Eicosatetrienoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49.5
Eleostearic acid	5,8,11,14,17-Eicosapentanoic acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-54.0
Nervonic acid	15-Tetracosenoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	39.0

2.3.3 ชนิดของน้ำมัน

การแบ่งชนิดของน้ำมันอาจแบ่งได้ตามสมบัติในการแห้งตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันนั้น ๆ โดยแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. น้ำมันแห้งเร็ว (Drying oil) สามารถจับกับออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง แห้งตัวได้เร็วที่สุด ไม่ละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำมันได้ ไม่ยอมให้ความชื้นซึมผ่าน และมีความทนทานต่อสารเคมี น้ำมันชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ 3 พันธะต่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน 1 สายโซ่ เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำมันแห้งช้า (Semi-drying oil) จะจับกับออกซิเจนจากอากาศได้น้อย และเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งช้ากว่าน้ำมันแห้งเร็ว ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ 2 พันธะต่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน 1 สายโซ่ น้ำมันชนิดนี้นำมาใช้เป็นสารประกอบในอัลคิลเรซินที่ไม่ขึ้นเหลือง (Non-yellowing alkyl) เช่น น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil) น้ำมันคำฝอย เป็นต้น

3. น้ำมันไม่แห้ง (Non-drying oil) ไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ หรือมีพันธะคู่ต่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนน้อย มักใช้ประโยชน์เป็นพลาสติกไซเซออร์สำหรับเรซินที่ใช้เป็นสารยึดในแลกเกอร์ เช่น น้ำมันละหุ่ง เป็นต้น [7]

2.3.4 น้ำมันลินสีด (Linseed oil)

ลินสีดจัดเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Linum usitatissimum* ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปของน้ำมันที่สกัดมาจากส่วนของเมล็ด และเส้นใยที่ได้จากส่วนของลำต้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามการนำไปใช้ประโยชน์ [14-15] คือ

1. ลินสีด (Linseed) ในกรณีที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปใช้ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมัน โดยน้ำมันที่ได้มีลักษณะพิเศษ คือ แห้งเร็ว ที่เรียกทั่ว ๆ ไปว่า น้ำมันซึกแห้ง (Drying oil) จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำสี น้ำมันซึกเงา น้ำมันเคลือบไม้ หมึกพิมพ์ ฝ้าพลาสติก น้ำมันพอกหนัง จารบี (Grease) และสารหล่อลื่น (Lubricants) เช่น ผสมกับน้ำมันสน น้ำมันตะกั่วดำ เป็นต้น

2. ลินิน (Linen) ใช้ประโยชน์จากเส้นใยจากส่วนของลำต้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอ (Fabrics) เช่น ฝ้ายลินิน เชือก (Twines) ฝ่าใบ (Canvas) วัสดุกันความร้อน เป็นต้น

เมล็ดลินสีด มีน้ำมัน 35-45 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นพืชน้ำมันหลักที่มีปริมาณกรดไขมัน Linolenic acid (C18:3) สูงถึง 40-65 เปอร์เซ็นต์ และมีสมบัติไวต่อการเกิด Auto oxidation ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันลินสีดมีสมบัติแห้งเร็ว เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมการทำสีย้อม (Paints) และสีเคลือบเงา (Varnish)

2.3.4.1 สมบัติ และการใช้งานของน้ำมันลินสีด

น้ำมันลินสีดสกัดได้จากเมล็ดแฟลกซ์ไปตากแห้งแล้วเก็บไว้ จากนั้นล้างสิ่งสกปรกออกแล้วผ่านเข้าไปในเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (Roller mill) เพื่อกะเทาะเปลือกออก นำเมล็ดที่กะเทาะเปลือกออกไปผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบีบในเครื่องบีบ เรียกว่า เอกซ์เพลเลอร์ (Expellers) จะบีบน้ำมันออกมาได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากเอาไปทำให้ร้อนแล้วบีบน้ำมันออกที่ความดันสูง ๆ หรือสกัดด้วยตัวทำละลายต่อได้ สำหรับกากที่เหลือมีน้ำมันเหลืออยู่ 1-6 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่ได้จากการสกัดมีความขุ่น ไม้ใส เพราะมีพวกเมล็ดปนอยู่ด้วย ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานจึงต้องนำไปกรองก่อน โดยสมบัติและส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำมันลินสีด [7] แสดงดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันลินสีด [7]

	น้ำมันลินสีดดิบ	น้ำมันลินสีดที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์
ค่าไอโอดีน	170	170
ค่าของกรด	3.5	0.5
ค่าสะพอนิฟิเคชัน	18	190
ร้อยละของสารที่สะพอนิฟายไม่ได้	1.25	1.25
ค่าถ่วงจำเพาะ, 25 องศาเซลเซียส	0.9201	0.9184
ดัชนีหักเห, 25 องศาเซลเซียส	1.4780	1.4784

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันลินสีด [7]

กรดไขมัน	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	รูปที่
กรดปาล์มมิติก	6.72	2.5
กรดไมริสติก	2.73	2.6
กรดโอเลอิก	21.63	2.7
กรดลิโนเลอิก	13.29	2.8
กรดลิโนเลนิก	56.61	2.9

โดยทั่วไปน้ำมันลินสีดดิบถ้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะแห้งภายใน 4 วัน ถ้าสภาวะต่าง ๆ ไม่เหมาะสม อาจถึง 10 วัน ถ้าจะให้แห้งเร็วขึ้นต้องเติมสารเร่งแห้ง และเนื่องจากน้ำมันลินสีดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวลิโนเลนิก (C18:3) ในปริมาณมาก จึงเกิดการเหม็นหืน (Rancidity) ได้ง่าย และมีอายุเก็บรักษาสั้น [7]

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันลินสีด ประกอบด้วยกรดไขมันต่าง ๆ [16] ดังนี้

1. กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) หรืออีกชื่อเรียกว่า Hexadecanoic acid ไม่มีพันธะคู่ภายใน โครงสร้าง ดังรูปที่ 2.5



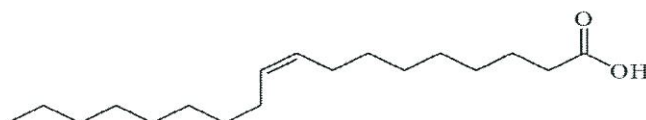
รูปที่ 2.5 กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) [17]

2. กรดไมริสติก (Myristic acid) ไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กรดไมริสติก (Myristic acid) [18]

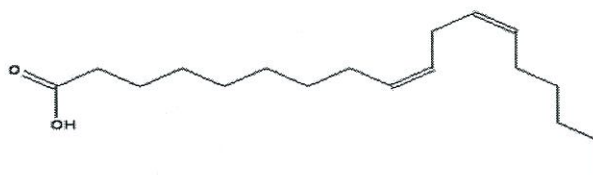
3. กรดโอเลอิก (Oleic acid) มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กรดโอเลอิก (Oleic acid) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง แต่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) [16]

5. กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง แต่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) [19]

2.3.5 น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized soybean oil, ESO)

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ มีราคาไม่แพง และหาได้ง่าย สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสารเคลือบผิว (สี วานิช และแล็กเกอร์) เป็นต้น น้ำมันถั่วเหลืองเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดหนึ่งประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ทั้งชนิดอิ่มตัว และชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองมีพันธะคู่ที่ว่องไวบนสายโซ่ หากดัดแปรโดยผ่านกระบวนการอีพ็อกซิเดชันจะได้เป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized soybean oil, ESO) โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง แสดงดังรูปที่ 2.11 และสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ถ้ามีการเชื่อมโยงโครงสร้างเป็นตาข่ายสามมิติ แต่ยังมีข้อด้อยด้านความแข็งแรง อาจปรับปรุงสมบัติโดยการผสมกับอีพ็อกซีเรซิน หรือการทำโคพอลิเมอร์เชนกับสไตรีน และการทำเป็นวัสดุคอมโพสิทก็สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และความทนทานต่อการใช้งานมากขึ้น [20-21]

ตารางที่ 2.5 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันถั่วเหลือง [20]

กรดไขมัน	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	รูปที่
กรดปาล์มมิติก	11	2.5
กรดโอเลอิก	26	2.7
กรดลิโนเลอิก	52	2.8
กรดลิโนเลนิก	7	2.9
กรดสเตียริก	4	2.10

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง

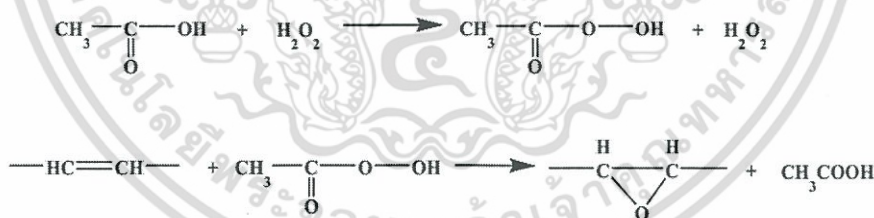
1. กรดปาล์มมิก (Palmitic acid) หรืออีกชื่อเรียกว่า Hexadecanoic acid มีประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีพันธะคู่ภายในโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.5
2. กรดโอเลอิก (Oleic acid) มีประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.7
3. กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) มีประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง แต่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต ดังรูปที่ 2.8
4. กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) มีประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง แต่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต ดังรูปที่ 2.9
5. กรดสเตียริก (Stearic acid) มีประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีพันธะคู่ภายในโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.10



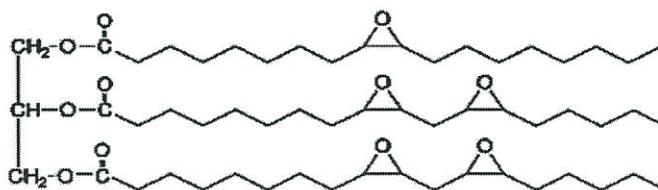
รูปที่ 2.10 กรดสเตียริก (Stearic acid) [22]

2.3.5.1 ลักษณะทั่วไปของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์

น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidize soybean oil, ESO) สังเคราะห์มาจากน้ำมันถั่วเหลืองทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกเปอร์ออกไซด์โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากกลไก ดังรูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์แสดงดังรูปที่ 2.12 [20]



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันบนพันธะคู่ของน้ำมันถั่วเหลือง [7]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ที่มีปริมาณอีพอกไซด์ 100 เปอร์เซ็นต์ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.2 สมบัติน้ำมันถั่วเหลืองอิพ็อกซิไดซ์ [24]

- ลักษณะเป็นของเหลวเหนียว สีเหลืองอ่อน
- มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ประมาณ 0.993
- มีค่าจุดเยือกแข็ง 0 องศาเซลเซียส
- จุดวาบไฟ 315 องศาเซลเซียส

2.3.5.3 การประยุกต์ใช้งาน

น้ำมันถั่วเหลืองอิพ็อกซิไดซ์เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ที่ใส่ลงในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไป คือ มีความอ่อนนุ่ม, ยืดหยุ่นสูง, ทนต่อสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ทนต่ออุณหภูมิ และสามารถนำมาผลิตเป็นหมึกพิมพ์ถั่วเหลืองได้ [25]

หมึกพิมพ์ถั่วเหลือง (Soy ink)

หมึกพิมพ์ถั่วเหลืองมีลักษณะคล้ายกับหมึกพิมพ์ที่มีขายทั่วไป โดยแตกต่างกันตรงส่วนประกอบที่ใช้ น้ำมันถั่วเหลืองมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม เป็นน้ำมันที่สกัดจากธรรมชาติ ใส และไม่มีสารพิษ น้ำมันถั่วเหลืองที่อยู่ในหมึกพิมพ์ช่วยให้สารสีทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และสามารถหามาผลิตได้ง่าย โดยหมึกพิมพ์นี้มีส่วนผสมของสารระเหยต่ำ ช่วยให้มีมลพิษทางอากาศลดน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยให้การนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ทำได้ง่ายขึ้นในกระบวนการแยกหมึกออกจากสิ่งพิมพ์

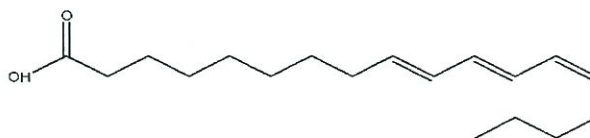
หมึกพิมพ์ถั่วเหลืองนี้ไม่สามารถแตก หรือสลายตัวโดยกระบวนการตามชีวภาพได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอัตราส่วนผสมสารให้สี รวมถึงสารปรุงแต่งอื่น ๆ มีปริมาณส่วนผสมเท่ากับอัตราส่วนหมึกฐานน้ำมันปิโตรเลียม แต่หมึกฐานน้ำมันพืชก็ยังมีมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า [4-5]

2.3.6 น้ำมันทัง (Tung oil)

น้ำมันทังได้มาจากต้นทังซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vernicia montana* Lour. อยู่ในวงศ์ *Euphobiaceae* เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูง 10-20 เมตร ใบใหญ่คล้ายแฉก้านใบยาว ดอกออกที่ปลายกิ่ง กลีบดอกสีขาวอมชมพูเป็นช่อ ดอกดกแน่น ออกดอกช่วงกุมภาพันธ์-มีนาคม เปลี่ยนเป็นผลช่วงเมษายน-พฤษภาคม ผลขนาดเท่าลูกมะนาวมีสันนูน แบ่งเป็น 3-4 พู เมล็ด 3-4 เมล็ด ตามจำนวนพู เมล็ดใหญ่มีกะลาหุ้มเนื้อในเมล็ดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในหลายพื้นที่ จึงมีชื่อเรียกพืชชนิดนี้หลายชื่อตามถิ่นกำเนิด เช่น ในไทยเรียกว่า มะเยาเหลียม หรือมะเยาหิน โดยคำว่า "Tung" เป็นคำที่มาจากภาษาจีน หมายถึง "หัวใจ" ซึ่งมาจากลักษณะของใบที่คล้ายรูปหัวใจ [26]

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันทัง

1. กรดอีลีโอสเตอริก (Eleostearic acid) เป็นกรดไขมันซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันทัง โดยมีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง ซึ่งอยู่ในระบบคอนจูเกตที่ตำแหน่ง 9-10 cis, 11-12 trans และ 13-14 trans ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กรดอีลีโอสเตอริก (Eleostearic acid) [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง แต่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต ดังรูปที่ 2.8
3. กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) หรืออีกชื่อเรียกว่า Hexadecanoic acid ไม่มีพันธะคู่ ภายในโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.5
4. กรดโอเลอิก (Oleic acid) มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันทัง [27]

กรดไขมัน	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	รูปที่
กรดอีลีโอสเตอริก	82.0	2.13
กรดลิโนเลอิก	8.5	2.8
กรดปาล์มมิติก	5.5	2.5
กรดโอเลอิก	4.0	2.7

2.3.6.1 สมบัติ และการใช้งาน

น้ำมันทังสกัดมาจากต้นทัง (สายพันธุ์ *Aleurites fordii*) ซึ่งเป็นพืชที่มีในประเทศจีน น้ำมันทังเป็นน้ำมันที่แห้งเร็ว (Drying oil) เช่นเดียวกับกับน้ำมันลินสีด โดยมีสีเหลือง และมีกลิ่นเฉพาะตัว น้ำมันทังนิยมใช้ในการทำสี ใช้เป็นส่วนที่ใช้กั้นน้ำ หรือส่วนประกอบของปูนประรอยต่อกระเบื้อง (Caulk) ใช้เป็นส่วนประกอบในหมึกดำ (Indian ink) และยังใช้เป็นน้ำมันทาไม้ให้แววมมัน (Lustrous finish on wood) มีสมบัติที่แห้งเร็ว และเหนียว โดยช่างทำไม้ถือว่าน้ำมันทังเป็นน้ำมันธรรมชาติสำหรับใช้กับไม้ที่ดีที่สุดในเมืองจีน

สมบัติพิเศษของน้ำมันทัง คือ สามารถเกิดการพอลิเมอไรซ์โดยตรงจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดอีน (Diene synthesis) เนื่องจากน้ำมันมีกรด Eleostearic อยู่ในปริมาณสูงสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เนื่องจากมีระบบคอนจูเกตในสายโซ่ น้ำมันทังมีการเชื่อมโยงที่เร็วกว่าน้ำมันลินสีด และจะมีความแข็งแรงมากกว่าด้วย เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันทังที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ๆ จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดเป็นเจล (Gelation) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ น้ำมันจะดำ หรือถ้าอุณหภูมิสูงมาก ๆ อาจเกิดการติดไฟขึ้นได้ [26] โดยทั่วไปน้ำมันทังดิบมีสมบัติดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ที่ 20 องศาเซลเซียส	0.9375
ความชื้น และสิ่งเจือปน	0.01 เปอร์เซ็นต์
จุดวาบไฟ (Flash point)	288.90 เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิติดไฟโดยอัตโนมัติ (Autoignition temp.)	457 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.14 เมล็ดของต้นทัง และน้ำมันทังที่ใช้ในงาน [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เขม่าดำ (Carbon black, CB)

เขม่าดำเป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือ การแตกตัวจากความร้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีลักษณะเป็นผงสีดำ ไม่มีกลิ่น และไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุล 12,011 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [7]

2.4.1 โครงสร้างของเขม่าดำ

โครงสร้างของเขม่าดำ คือ ความไม่เป็นระเบียบ (Irregularity) หรือความเกะกะ (Bulkiness) ของแอ็กกรีเกต (Aggregates) หรือกลุ่มก้อนที่ติดกันของโนดูล (Nodules)

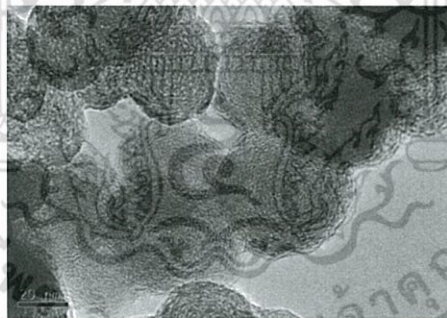
- เขม่าดำที่มีโครงสร้างน้อย (Low structure) หมายถึง เขม่าดำที่โนดูลเกาะกันอย่างเป็นระเบียบ รูปร่างค่อนข้างกลม ไม่มีกิ่งก้านมาก

- เขม่าดำที่มีโครงสร้างมาก (High structure) หมายถึง เขม่าดำที่จำนวนโนดูลต่อหนึ่งแอ็กกรีเกตมาก เกาะติดกันเป็นรูปร่างไม่เป็นระเบียบ เป็นกิ่งก้านสาขามาก มีช่องว่างระหว่างอนุภาค เขม่าดำมาก สามารถดูดซับสารเติมแต่งจำพวกน้ำมัน สารหล่อลื่นได้มาก โดยน้ำมันจะเข้าแทรกตัวในช่องว่าง (Void volume) หรือช่องว่างระหว่างโครงสร้างเกะกะของอนุภาคเขม่าดำ

โครงสร้างของเขม่าดำแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) เป็นโครงสร้างพื้นฐานมีขนาดเล็ก เกิดจากโนดูลเกาะติดกันเป็น “แอ็กกรีเกต” (Aggregates)

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่เกิดจากโครงสร้างปฐมภูมิจับตัวเป็นกลุ่มก้อนด้วยแรงทุติยภูมิ เรียกว่า “แอ็กโกลเมอเรต” (Agglomerates) [29]



รูปที่ 2.15 TEM Micrograph แสดงรูปร่างของเขม่าดำ (แท่งแสดงขนาด = 20 nm) [30]

2.4.2 ชนิดของเขม่าดำ

- แชนแนลแบล็ก (Channel black) เตรียมได้จากแก๊สธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยแก๊สมีเทนและอีเทนเป็นส่วนใหญ่ มีสีดำไปทางน้ำตาล มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.007-0.03 ไมโครเมตร และเนื่องจากมีอนุภาคเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวหน้าสูง ดูดกลืนน้ำมันได้สูง สามารถดูดสารเร่งแห้งไว้ได้บ้าง เป็นผลให้การแห้งตัวของสี หรือหมึกพิมพ์ช้าลง

- เฟอร์เนซแบล็ก (Furnace black) เตรียมได้จากการเผาแก๊สธรรมชาติ หรือน้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยในเตาอิฐ โดยควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าไปในเตาให้น้อยที่สุด มีสีดำไปทางน้ำเงิน ขนาดอนุภาค 0.03-0.1 ไมโครเมตร มีราคาถูก มีการดูดกลืนน้ำมัน และมีสมบัติการไหลดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

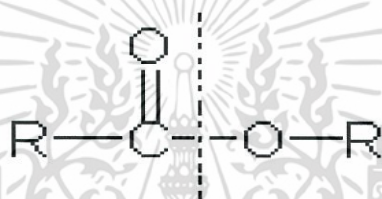
- เทอร์มอลแบล็ก (Thermal black) เตรียมได้จากการทำให้แก๊สธรรมชาติ หรือแก๊สอะเซทิลีนแตกตัวด้วยความร้อน สำหรับคาร์บอนชนิดนี้ใช้ในอุตสาหกรรมสีน้อยมาก [31-33]

2.5 แวกซ์ (Waxes)

2.5.1 โครงสร้างทั่วไปของแวกซ์

แวกซ์ คือ สารในกลุ่มลิพิด (Lipid) ซึ่งแวกซ์ที่พบในธรรมชาติเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียว (Monohydric alcohol) เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และไม่ละลายน้ำ

องค์ประกอบของแวกซ์ เป็นของผสมของเอสเทอร์ที่เกิดจากกรดไขมัน และแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว ส่วนที่มาจากกรดไขมันจะมีจำนวนอะตอมคาร์บอนเป็นเลขคู่ ระหว่าง 14-36 อะตอม สำหรับส่วนที่มาจากแอลกอฮอล์มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเป็นเลขคู่เช่นกัน ระหว่าง 16-30 อะตอม [34-35]



ส่วนที่มาจากกรด ส่วนที่มาจากแอลกอฮอล์

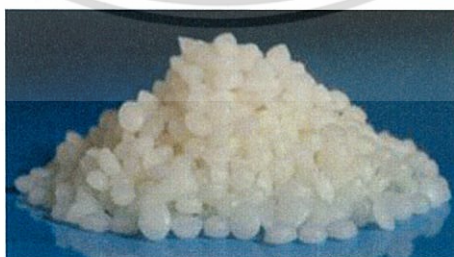
รูปที่ 2.16 สูตรโครงสร้างทั่วไปของแวกซ์ [34]

2.5.2 ชนิดของแวกซ์

แวกซ์มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของกรด และแอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่

2.5.2.1 ไวท์บีส์แวกซ์ (White bees wax)

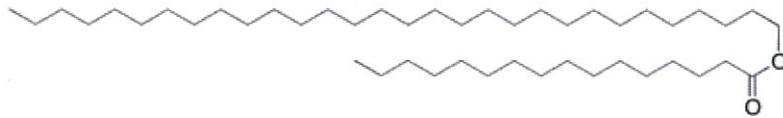
ไวท์บีส์แวกซ์ (White bees wax หรือ Bees wax ชนิดขาวพิเศษ) ได้มาจากการสกัดจากรวงผึ้งธรรมชาติ สูตรโมเลกุล $C_{25-27}H_{51-55}COOC_{30-32}H_{61-65}$ มีจุดหลอมเหลว 62-64 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส มีค่า 958-970 กิโลกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [36]



รูปที่ 2.17 ลักษณะทางกายภาพของไวท์บีส์แวกซ์ [37]

ไวท์บีส์แวกซ์ มีความบริสุทธิ์ ไม่มีกลิ่น มีความเสถียรสูง ไม่เปลี่ยนสี ไม่ละลายน้ำ และไม่ละลายในแอลกอฮอล์เย็น ละลายเมื่อโดนความร้อน มักใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในครีม โลชั่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิปพาล์ม เป็นต้น โดยผสมในน้ำมัน (Oil-phase) ที่อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส เพื่อให้ละลายเข้ากับน้ำมัน คอยคนให้เข้ากันในช่วงที่ผลิตภัณฑ์กำลังเย็นตัวลง [38]



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของไวท์ปีส์แว็กซ์ [39]

2.5.2.2 ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ (Microcrystalline wax หรือ Micro wax)

ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ ได้มาจาก Mineral wax มีจุดหลอมเหลวประมาณ 76-84 องศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่น 915-941 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [40]

มีจุดเด่น คือ สามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่าแว็กซ์ชนิดอื่น ๆ รวมถึงมีเนื้อที่เนียน จึงมักใช้ผลิตลิปสติกเพื่อให้เนื้อเนียน และป้องกันการเกิดการแยกของน้ำมันออกจากเนื้อสูตร (Sweating) ใช้สำหรับปรับความข้นหนืดของน้ำมัน ช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของสี (Color uniformity) [41]



รูปที่ 2.19 ลักษณะทางกายภาพของไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ [42]

2.5.2.3 คาร์นูบาแว็กซ์ (Carnauba wax)

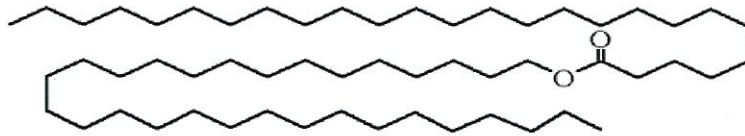
คาร์นูบาแว็กซ์ เป็นแว็กซ์ที่ได้จากใบของปาล์มคาร์นูบา (Coperniciaprunifera) ซึ่งขึ้นเฉพาะทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล มีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองน้ำตาล เป็นแว็กซ์จากธรรมชาติที่แข็งที่สุด ประกอบไปด้วยกรดไขมันกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 82-86 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 970 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม่ละลายในน้ำ และเอทานอล [43]



รูปที่ 2.20 ลักษณะทางกายภาพของคาร์นูบาแว็กซ์ [44]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์นูบาแว็กซ์สามารถนำไปใช้ได้หลากหลายอุตสาหกรรม เช่น เคลือบสีรถยนต์ แวกซ์ขัดเคลือบผิว ส่วนผสมลิปสติก หรือแคปซูลยา เพื่อให้คงสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น ด้วยสมบัติที่ทนความร้อนได้ดี แต่เนื่องจากคาร์นูบาแว็กซ์บริสุทธิ์ จะมีความแข็งมากจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ผู้ผลิตมักจะผสมสารละลายตามการใช้งาน [45]



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของคาร์นูบาแว็กซ์ [46]

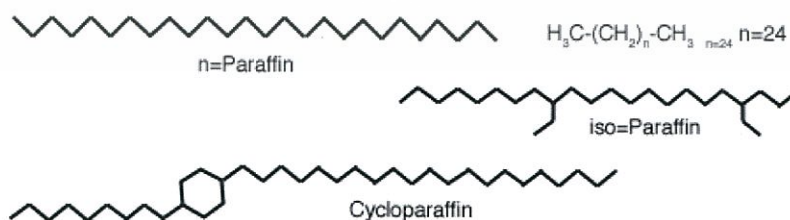
2.5.2.4 พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax)

พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) เป็นชื่อสามัญของแว็กซ์ที่เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน เป็นแว็กซ์ที่จัดอยู่ในกลุ่มปิโตรเลียมแว็กซ์ (Petroleum wax) โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ C_nH_{2n+2} จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล 19-36 อะตอม ($C_{19}-C_{36}$) [47]



รูปที่ 2.22 ลักษณะทางกายภาพของพาราฟินแว็กซ์ [48]

พาราฟินแว็กซ์ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีเหลืองอ่อนถึงขาว มีจุดหลอมเหลว 48-68 องศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่น 820-920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม่ละลายในน้ำ มีหลายสถานะ หลายประเภทขึ้นอยู่กับค่าปริมาณน้ำมันที่อยู่ภายในแว็กซ์ [49]



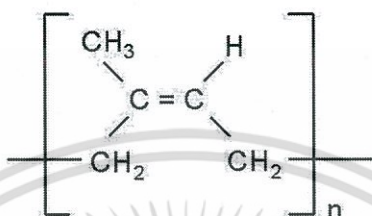
รูปที่ 2.23 โครงสร้างของพาราฟินแว็กซ์แบบต่าง ๆ [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)

2.6.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ มีชื่อทางเคมีว่า ซีส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เป็นพอลิเมอร์ประเภทไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยพอลิเมอร์ประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักที่เหลือเป็นโปรตีน ไขมัน และเกลืออนินทรีย์ต่าง ๆ ยางไฮโดรคาร์บอนมีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำกันคือ ไอโซพรีน (C₅H₈) มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000-3,000,000 [51-52]



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของยางธรรมชาติแบบ cis-1,4-polyisoprene [52]

2.6.2 ยางแท่ง (Block rubber)

ยางแท่ง (Block rubber) หรือมาตรฐานยางแท่ง (Standard Thai rubber, STR) คือ ยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสด และยางแท่ง ซึ่งวัตถุดิบยางที่มีคุณภาพดีจะผลิตได้ยางแท่งที่มีเกรดสูง และสมบัติทางกายภาพที่ดี

ยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสด เป็นยางแท่งที่มีสมบัติทางกายภาพสูง มีความสะอาด ความยืดหยุ่น และความเหนียวสูง จึงมักนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง เช่น ล้อยางเครื่องบิน ล้อยางเรเดียลทุกชนิด อีกทั้งมีสีใสสวย เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีอื่นต่าง ๆ โดยน้ำยางสดที่นำมาผลิตยางแท่ง จะต้องมีการควบคุมคุณภาพ [53-54]

เกรดยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสด มี 4 เกรด คือ

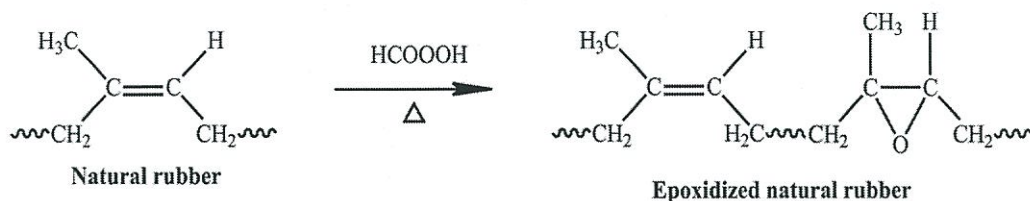
1. STR XL จำกัดปริมาณสิ่งสกปรกไม่เกิน 0.02 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสีไม่เกิน 4 หน่วยโลวิบอนด์
2. STR 5L จำกัดปริมาณสิ่งสกปรกไม่เกิน 0.04 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสีไม่เกิน 6 หน่วยโลวิบอนด์
3. STR 5 จำกัดปริมาณสิ่งสกปรกไม่เกิน 0.04 เปอร์เซ็นต์ (ไม่จำกัดค่าสี จึงสามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง ที่ไม่เน้นสีมากนัก)
4. STR 5CV จำกัดปริมาณสิ่งสกปรกไม่เกิน 0.04 เปอร์เซ็นต์ (ไม่จำกัดค่าสี จึงสามารถนำไปใช้กับ ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง ที่ไม่เน้นสีมากนัก) เป็นยางแท่งความเหนียวคงที่ โดยเติมสารเคมีเพื่อควบคุมความเหนียวให้สม่ำเสมอ [55]

2.6.3 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxydized natural rubber, ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เป็นยางที่นำยางธรรมชาติมาปรับโครงสร้างโดยใช้สารเคมีจำพวกกรดเปอร์ออกไซด์ (Peroxy acid) เป็นยางที่ได้จากการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของยางตรงบริเวณพันธะคู่ เกิดเป็นวงแหวนอีพอกไซด์โดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxydation) โดยมีระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันตั้งแต่ 10-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยางจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มกว่ายางธรรมชาติปกติ โดยมีการผลิตขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ยางมีความเป็นขี้ผึ้งมากขึ้น สามารถทนต่อน้ำมัน และตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ดีขึ้น สามารถทนต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอโซน และการซึมผ่านของอากาศได้ดี เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง อย่างไรก็ตาม มีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่ายางธรรมชาติ เช่น มีความยืดหยุ่นต่ำลง และหากนำไปวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจะไม่ทนต่อความร้อน [56] เป็นต้น



รูปที่ 2.25 กระบวนการผลิตยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [56]

ตารางที่ 2.7 การใช้งานยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [56]

สมบัติเด่น	การใช้งาน	เกรดของยาง ENR
ทนทานต่อน้ำมัน	ท่อ ข้อต่อ และสายยาง	ENR-25, ENR-50
การซึมผ่านอากาศต่ำ	แบลคเตอร์ ยางใน เคลือบภายในท่อ	ENR-25
เสริมประสิทธิภาพได้ด้วยซิลิกา	ใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงแต่ไม่ต้องการให้เป็นสีดำ	ENR-25
มีความต้านทานต่อการหมุนตัว	ดอกยางรถยนต์ พื้นยาง พื้นรองเท้า กีฬา	ENR-25, ENR-50
การหน่วง	ป้องกันการสั่นของเครื่อง และใช้งานกับเครื่องกลทางวิศวกรรม	ENR-25, ENR-50
การติดประสาน	กาว เคลือบสายพานพีวีซี	ENR-25, ENR-50

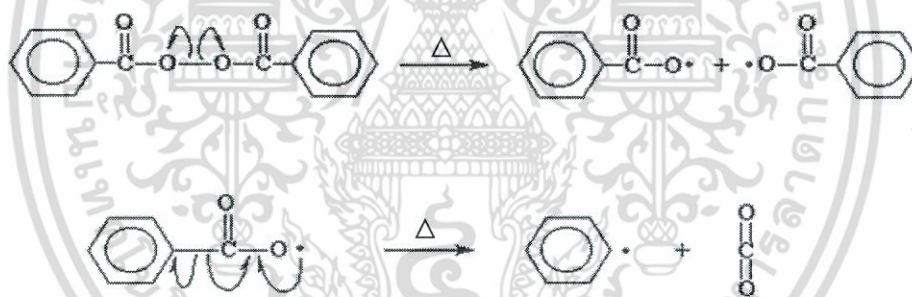
2.7 ตัวริเริ่มปฏิกิริยา

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวด้วยความร้อนมักเป็นสารประกอบประเภทเปอร์ออกไซด์ เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide), ไดอะเซทิลเปอร์ออกไซด์ (Diacetyl peroxide), ไดเทอร์เทอริบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (Di-*t*-butylperoxide) และโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต (Potassium peroxydisulfate) หรือโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate) โดยสารเปอร์ออกไซด์จะเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งพันธะระหว่างอะตอมออกซิเจนกับออกซิเจน [57] ซึ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแตกตัวที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่แตกตัวโดยความร้อน [57]

ชื่อ	อุณหภูมิที่แตกตัว (องศาเซลเซียส)
Dibenzoyl peroxide	40-90
Di-t-butyl peroxide	80-150
Azo-bisisobutyronitrile (AIBN)	20-100
Hydrogen peroxide	30-80
Cumene hydroperoxide	50-100
Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$)	50-90

โดยงานวิจัยนี้ใช้ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ในการศึกษา ซึ่งจัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่สามารถละลายในน้ำมันได้ มีน้ำหนักโมเลกุล 242.23 กรัมต่อโมล ความหนาแน่นเท่ากับ 1.334 กรัมต่อมิลลิลิตร และจุดหลอมเหลวประมาณ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เกิดการแตกตัวโดยความร้อนระหว่างอะตอมของออกซิเจนกับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่ตำแหน่งอะตอมของออกซิเจน แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ปฏิกิริยาการแตกตัวของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ [57]

การแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้มีข้อสังเกตที่สำคัญ 2 ประการ คือ

ประการแรก การแตกตัวไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันทุกโมเลกุล แต่ปริมาณการแตกตัวจะเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยมีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) ของการแตกตัวเป็นดัชนีในการบ่งชี้ว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดใดแตกตัวได้เร็ว หรือช้ากว่ากัน โดยถ้าหากค่าครึ่งชีวิตมีค่าน้อยก็แสดงว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้น ๆ สามารถแตกตัวได้เร็วจนมีความเข้มข้นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นที่ใส่ลงไปตอนเริ่มต้นภายในเวลาอันสั้น นอกจากนี้ค่าครึ่งชีวิตของตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาด้วย กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเกิดการแตกตัวได้มากขึ้น และทำให้ค่าครึ่งชีวิตมีค่าลดลง

ข้อสังเกตประการที่สอง อนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้จะมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะไปทำหน้าที่กระตุ้นสารตั้งต้นให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้น โดยอนุมูลอิสระบางส่วนอาจจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ทำให้สูญเสียความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาไป ซึ่งปฏิกิริยาข้างเคียงเหล่านี้ อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Wastage reaction เช่น สารประกอบเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ แสดงดัง

รูปที่ 2.26 โดยอนุมูลอิสระของเบนโซอิลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกสามารถแตกตัวต่อได้เป็นอนุมูลอิสระของฟินิล และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอนุมูลอิสระของฟินิลที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดการรวมตัวกันเอง หรือรวมตัวกับอนุมูลอิสระของเบนโซอิลซึ่งทำให้ได้โมเลกุลที่แตกตัวได้ยาก

อาจกล่าวได้ว่า ตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทที่แตกตัวโดยความร้อนอาจจะไม่ได้มีประสิทธิภาพในการทำหน้าที่กระตุ้นสารตั้งต้นได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความเสถียรของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น [57]

2.8 การแห้งตัวของหมึกพิมพ์

2.8.1 ประเภทการแห้งตัวของหมึกพิมพ์

กระบวนการแห้งตัวของหมึกพิมพ์แบบต่าง ๆ มีดังนี้ [58]

1. Heat set เป็นการแห้งตัวโดยอาศัยการระเหยตัวทำละลายออกด้วยความร้อน กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (Secondary force) อย่างอ่อน ๆ ดังนั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของมัน

2. Cold set เป็นการแห้งตัวโดยอาศัยการซึมของตัวทำละลายลงในกระดาษ เหลือเฉพาะเนื้อหมึกติดอยู่บนผิวหน้ากระดาษ การแห้งตัวโดยวิธีนี้จะไม่มีปฏิกิริยาเคมีช่วยในการแห้งจึงไม่เป็นการแห้งตัวที่แท้จริง และหมึกพิมพ์ไม่ทนต่อการขัดสี จึงใช้พิมพ์บนกระดาษที่มีความสามารถในการดูดซึมหมึกที่ดี มีความพรุนสูง

3. Oxidation and Polymerization การแห้งตัวโดยวิธีนี้ เกิดจากออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันในหมึกพิมพ์ ทำให้หมึกพิมพ์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นฟิล์มที่แข็งแรงเกาะติดอยู่บนวัสดุพิมพ์ หมึกพิมพ์แห้งตัวโดยวิธีนี้ใช้พิมพ์ได้กับกระดาษทุกชนิด โดยเฉพาะกระดาษที่มีความพรุนต่ำ เช่น กระดาษเคลือบผิว หมึกพิมพ์ชนิดนี้ทนทานต่อเคมีภัณฑ์ และการขูดขีดได้ดี

4. การแห้งตัวโดยผ่านแสง UV เกิดจากการเกิดปฏิกิริยา UV Polymerization คือ อาศัยรังสียูวีเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยส่วนใหญ่เป็นแบบอนุมูลอิสระ



รูปที่ 2.27 ประเภทการแห้งตัวของหมึกพิมพ์แบบต่าง ๆ [58]

2.8.2 กระบวนการแห้งตัวของหมึกพิมพ์บนกระดาษ

แบ่งเป็น 1 ขั้นตอน ดังนี้

1. หมึกเริ่มเกิดการเซตตัว (Setting) คือ การที่หมึกซึมลงกระดาษ การแห้งตัวแบบการแทรกซึมมักเกิดขึ้นกับหมึกพิมพ์ชั้นเหนียวที่มีความหนืดต่ำ เช่น หมึกพิมพ์ที่ใช้พิมพ์หนังสือพิมพ์ ทั้งหมึกพิมพ์ออฟเซต และหมึกพิมพ์เลตเตอร์เพรสส์ โดยอาศัยหลักการที่ตัวทำละลายในหมึกพิมพ์จะแทรกซึมผ่านลงไปในช่วงว่างของกระดาษ จึงทำให้เกิดการแห้งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หมึกแห้ง (Drying) โดยกระบวนการ Oxidation polymerization การแห้งตัวแบบนี้เกิดขึ้นเฉพาะกับหมึกพิมพ์ชั้นเหนียว ที่ประกอบด้วยเรซิน และน้ำมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งโมเลกุลประกอบไปด้วยพันธะ $C=C$ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจนเกิดเป็นฟิล์มหมึกที่แห้งสมบูรณ์

2.8.3 ระยะเวลาการแห้งตัว (Drying time)

การแห้งของสารเคลือบซึ่งแห้งได้เองในอากาศแตกต่างกันตามระยะเวลาการแห้งตามลำดับดังนี้ [60]

- แห้งที่ผิว (Surface dry) เป็นการแห้งชั้นที่แห้งเฉพาะผิวหน้า เมื่อสัมผัสแล้วไม่เกิดรอยนิ้วมือบนผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่ม และเหนียว
- แห้งแข็ง (Hard dry) เป็นการแห้งถึงชั้นที่สามารถเคลือบอีกชั้นหนึ่งทับได้ด้วยแปรงทดสอบโดยใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงบนผิวของฟิล์มแล้วหมุนรอบ ๆ ถ้าผิวไม่แตกร้าเสียหายแสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งแล้ว

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Döndü İşeri-Çağlar และคณะ [61] ศึกษาการเตรียม และวิเคราะห์สมบัติที่ได้ของสีฐานน้ำมันจากน้ำมันลินสีด โดยใช้อัลคิดเรซินผสมกับน้ำมันลินสีดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และผสมสารเติมแต่งต่าง ๆ ได้แก่ ฮันไทต์ (Huntite), Aerosil R972, ทัลคัม (Talcum), ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide), สารเร่งแห้ง, สารทำให้เปียก และสารกันการเกิดฟิล์มแข็งที่ผิวสี (Anti-skinning) จากนั้นนำทุกสูตรที่ได้ไปทดสอบบนกระดาษ แล้วอบที่ 30 องศาเซลเซียส เพื่อให้แห้ง แล้วนำสีเคลือบที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติ ได้แก่ การทดสอบความแข็งของสี โดย Pencil hardness test และ Pendulum hardness test, การทดสอบการยึดติดสี Cross-cut test, การทดสอบความเงาสี Gloss measurement และการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี พบว่าสูตรที่มีปริมาณน้ำมันในอัลคิดเรซินน้อย ใช้เวลาในการแห้งตัวเร็ว แต่มีค่าความแข็ง และความเงาของสีมากกว่าสูตรที่มีปริมาณน้ำมันในอัลคิดเรซินสูง ในการทดสอบการยึดติดสี Cross-cut test พบว่าสีไม่หลุด มีการยึดติดสีที่ดี และเมื่อทดสอบความทนทานต่อสารเคมี โดยการแช่ในรีเอเจนต์ ไม่พบรอยแตกของสี แสดงว่ามีความสามารถในการทนสารเคมีได้ดี

ธนาคม ไวยติดต่อ และคณะ [62] ได้พัฒนาหมึกพลาสติกซอลซึ่งนำ EVA มาใช้แทน PVC และปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ ได้แก่ DOP และ ESO โดยเตรียมผสมกับ EVA ด้วยเครื่องผสมในระบบปิดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และนำไปผสมกับ DOP ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุมอัตราส่วนของ EVA:DOP เป็น 1:1 แล้วนำของที่ผสมได้ไปผสมกับ DOP หรือ ESO เพื่อปรับปรุงสูตรผสม โดยใช้เครื่องกวนความเร็วสูงจะได้ของผสมที่เป็นหมึกพลาสติกซอล และทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของหมึกพลาสติกซอล พบว่าหมึกพลาสติกซอลทุกสูตรที่เตรียมได้ ซึ่งมีความหนืดอยู่ในช่วง 240-660 เซนติพอยส์ แต่ละสูตรจะมีสมบัติทางความร้อนใกล้เคียงกัน คือ T_g และ T_m ของ EVA มีค่าอยู่ในช่วง -84 ถึง -74 องศาเซลเซียส และ 37 ถึง 48 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำหมึกพลาสติกซอลที่เตรียมได้ไปสกรีนบนผ้าฝ้าย 100เปอร์เซ็นต์ และอบให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเซตตัวที่อุณหภูมิ 60 ถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-5 นาที และนำมาทดสอบความคงทนก่อน และหลังการแช่น้ำเปล่า หรือซักล้าง ได้แก่ การยึดติดของหมึกบนผ้า ความคมชัดของลวดลายที่พิมพ์ และทดสอบเฉดสี พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งไม่พบการหลุดลอกของเนื้อหุ้มหลังการซັกล้าง การแห้งตัวของหุ้มพลาสติกซอล เกิดจากการให้ความร้อนจะทำให้ EVA หลอมแล้วซึมลงรูพรุนของผ้า และยึดเกาะในผ้าเมื่อหุ้มพลาสติกซอลเย็นตัวลง

Z.O Oymane และคณะ [63] ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันแห้งเร็วที่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต คือ น้ำมันลินสีด และที่เป็นระบบคอนจูเกต คือ น้ำมันทัง โดยใช้ Co(II)-2-ethylhexanoate (Co-EH) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมัน 2 ชนิดนี้จะมีกลไกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แตกต่างกัน สำหรับน้ำมันลินสีด การแตกออกของไฮโดรเจนจะเกิดขึ้นผ่านอัลลิลิก ไฮโดรเจนอะตอม ออกซิเจนปริมาณมากที่ใส่ลงนำไปสู่การเกิด Hydroperoxide ซึ่งสามารถสลายกลายเป็นอนุมูลอิสระของ Alkyoxy และ Peroxy โดยทำให้เกิดการเชื่อมโยง และผลิตภัณฑ์ร่วมส่วนน้ำมันทัง เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเริ่มจากการแตกออกของไฮโดรเจนจาก Monoallylic เมื่อเทียบกับน้ำมันลินสีดแล้วจะใช้ปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า และเกิด Hydroperoxide ได้น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าอนุมูลอิสระชอบทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ที่เป็นระบบคอนจูเกตมากกว่า

P.Karmalm และคณะ [64] ศึกษาสูตรที่สามารถเชื่อมโยงได้โดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซีในพีวีซีพลาสติกซอล น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซีจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในพอลิไวนิลคลอไรด์ สำหรับงานวิจัยนี้ ศึกษาสมบัติของวัสดุเมื่อใช้ และไม่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซีในพีวีซีพลาสติกซอล และพีวีซีที่เป็นสารแขวนลอย โดยเติมอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลือง 50 phr ต่อ พีวีซีแต่ละชนิด 100 phr และนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยจะปรับเวลาที่ใช้ในการอบ 5, 15, 20 และ 30 นาที พบว่า เมื่อทดสอบความแข็งแรงดึง เมื่อเติมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซีในพีวีซีแต่ละชนิดได้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซีมีผลต่อการเชื่อมโยงที่ทำให้วัสดุแข็งตัวได้

Altuna และคณะ [65] ศึกษาสมบัติของซินเทติกโฟม (Syntactic foams) โดยเตรียมจากไดโกลซิดิลอีเทอร์ของบิสฟีนอลเอ (Diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA)) กับน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซี (Epoxidized soybean oil, ESO) โดยศึกษาปริมาณของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ซีที่แตกต่างกัน คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 %wt ซึ่งใช้ Glass microballoon เป็นสารตัวเติม ในสัดส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 0.55 และเมทิลเททราไฮโดรฟทาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Methyl-tetrahydrophthalic anhydride (MTHPA)) เป็นสารเชื่อมโยง โดยผสมในสถานะสูญญากาศ จากนั้นนำโฟมมาศึกษาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ พบว่า โฟมที่มี ESO มากกว่า 60 %wt มีค่าความแข็งแรงดัดงอ และความแข็งแรงกดอัดลดลง แต่ความเครียด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณ ESO จะทำให้อุณหภูมิจานะคล้ายแก้วลดลง จากผลการทดสอบทำให้เกิดประโยชน์ในการผลิตโฟม เพื่อนำไปใช้เป็นแกนกลางของแซนด์วิชพานแนล (Sandwiches panels) ต่อไป

ณัฐดนัย อุณเกษม [66] ศึกษาการเตรียมกาวสำหรับอัดแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ไร้สารฟอร์มาลดีไฮด์ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol),PVA) เป็นสารตั้งต้น ปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันทัง (Tung oil) และน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล และทนน้ำ โดยปรับอัตราส่วนของน้ำมันทังต่อน้ำยางพาราธรรมชาติ, อัตราส่วนของกาวต่อเนื้อไม้, ขนาดของเนื้อไม้ยางพารา, อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยทำการเปรียบเทียบผลของ

การเติม และไม่เติมสารเติมแต่งชนิดซิลิกาในสูตรกาว จากนั้นนำผลที่ได้ไปทดสอบความหนาแน่น (Density), ปริมาณความชื้น (Moisture content), การพองตัวทางความหนา (Swelling), ความต้านทานแรงดึงที่ติดตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bonding) และมอดุลัสยืดหยุ่น (Bending modulus) พบว่าสูตรกาวที่มีปริมาณน้ำมันทั้งมากกว่าให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าสูตรกาวที่มีปริมาณน้ำมันทั้งน้อยกว่า รวมถึงเมื่อเวลาผ่านไปพบว่าความเหนียวมีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากสูตรกาวที่มีน้ำมันทั้งเป็นองค์ประกอบบางส่วนสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่กับออกซิเจนในอากาศ เกิดพันธะเชื่อมโยงทำให้ความเหนียวสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความเหนียวเริ่มต้น

อาจารย์พงศยุทธ์ จันทอง และคณะ [67] ศึกษาการผลิตและพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนที่มีตัวทำละลายฐานน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นตัวทำละลายแทนน้ำมันปิโตรเลียมในการผลิตหมึกพิมพ์ แล้วนำหมึกพิมพ์ที่ได้มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบความละเอียด, การทดสอบการแพร่กระจาย, การทดสอบเวลาในการแห้งตัว, การทดสอบการยึดติด, การทดสอบความทนทานต่อการขัดถู และการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี พบว่าหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีสมบัติการแห้งตัวช้ากว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ จึงใส่สารเร่งแห้ง ได้แก่ Cobalt naphthenate และ Manganese naphthenate และศึกษาชนิดของวานิชที่ใช้ ได้แก่ ชนิด Alkyd resin (BECKOSOL ES-5003-60) และชนิด Alkyd resin (BECKOSOL ES-6501-70-HV) พบว่าชนิด Alkyd resin (BECKOSOL ES-5003-60) ใช้เวลาแห้งตัวน้อยกว่าชนิด Alkyd resin (BECKOSOL ES-6501-70-HV) แต่ยังคงใช้เวลาในการแห้งตัวนานกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เอทิงฐานน้ำมันที่มีองค์ประกอบของไขมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์เป็นฐานหมึก เช่นเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของอาจารย์พงศยุทธ์ จันทอง และคณะ [68] ที่ใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นตัวทำละลายแทนน้ำมันปิโตรเลียมในการผลิตหมึกพิมพ์สกรีน และงานวิจัยนี้มีการใช้ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์เกรด ENR-25, น้ำมันลินสีด, น้ำมันทั้งเป็นส่วนผสม อีกทั้งศึกษาการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO) รวมถึงมีการเติมแวกซ์ และเขม่าดำ (Carbon black) ลงในสูตรหมึกพิมพ์ แล้วเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบการซึมของน้ำมันบนกระดาษ Farbrino etching, การแห้งตัวของหมึกพิมพ์, การยึดติดของหมึกพิมพ์, ความคมชัดของลวดลาย, เฉดสีของเนื้อหมึกพิมพ์, ความเหนียวของเนื้อหมึกพิมพ์, อายุการใช้งาน และความสามารถในการชะล้างของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้เทียบกับเนื้อหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมี

- ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) : ยางแท่ง เกรด STR 5L, สถาบันวิจัยยาง
- ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ (Epoxidized natural rubber, ENR) : เกรด Epoxyprene 25 (ENR-25), บริษัท Muang Mai Guthrie PCL จำกัด

ตารางที่ 3.1 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์

สมบัติ	ENR-25
เปอร์เซ็นต์ Epoxidation	25±2
Ash content (Max. % Weight)	0.50
Mooney Viscosity ML (1' + 4') 100 องศาเซลเซียส (Range Min-Max)	70-100

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัท

- น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์ (Epoxidized soybean oil, ESO) : เกรดการค้า VIKOFLEX® Series 7170, บริษัท ศรีเทพไทยเคมี จำกัด

ตารางที่ 3.2 สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์

สมบัติ	VIKOFLEX Series 7170	หน่วย
ความหนาแน่น	0.993	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำหนักโมเลกุล	1000	กรัมต่อโมล
ค่าการหักเหของแสง	1.472	-
ปริมาณอีพอกซีไดซ์	7.0	เปอร์เซ็นต์

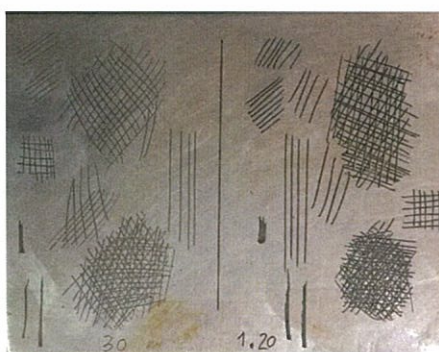
หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัท

- น้ำมันลินสีด (Linseed oil) : บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด
- น้ำมันทัง (Tung oil) : บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด
- ไวท์บีส์แว็กซ์ (White bees wax, BW) : เกรดการค้า, บริษัท รวมเคมี 158 จำกัด
- ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ (Microcrystalline wax) : เกรดการค้า, บริษัท รวมเคมี 158 จำกัด
- คาร์นุบาแว็กซ์ (Carnauba wax) : เกรดการค้า, บริษัท รวมเคมี 158 จำกัด
- พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) : เกรดการค้า, บริษัท รวมเคมี 158 จำกัด
- เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO)
- ผงเขม่าดำ (Carbon black, CB) : เกรดการค้า
- น้ำยาซักล้างสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer) : รุ่น RVT, บริษัท BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES.ING จำกัด
2. กล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดดิจิทัล (Digital Light Microscope) : รุ่น Dino-Lite Digital Microscope Pro 2, บริษัท ANMO Eletronics Corparation จำกัด
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น EVO[®] MA10
4. เครื่องวัดสีมาตรฐาน ASTM D-1925 : รุ่น MiniScan XE plus, บริษัท Color Associates จำกัด
5. เครื่องบดแบบลูกบอล หรือบอลมิลล์ (Ball mill)
6. ลูกเหล็กบด
7. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด : รุ่น AX224, บริษัท Sartorius จำกัด
8. เครื่องฉายรังสี Ultraviolet (UV)
9. แท่นกวนให้ความร้อน (Hot Plate with Stirrer) : รุ่น C-MAC HS7, บริษัท IKA จำกัด
10. เครื่องแก้ว
11. กระจกสไลด์ (Glass slide)
12. กระจกปิดสไลด์ (Coverslip)
13. ซ้อนตักสาร
14. เกียงปาดสี
15. กระดาษพิมพ์ Farbrino etching
16. กระดาษอาร์ตมันหนา 400 แกรม
17. เครื่องบดสาร Ball mill
18. แท่งแม่เหล็กคนสาร
19. ฟู่กัน ไทยแหลมทอง เบอร์ 7
20. แผ่นใส มีความหนาเท่ากับ 0.11 มิลลิเมตร
21. แม่พิมพ์โลหะ ประกอบด้วย 2 ชนิด
 - Hard ground ดังรูปที่ 3.1
 - Aquatint แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์โลหะ Hard ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์โลหะ Aquatint แบบที่ 1 (ก), แบบที่ 2 (ข) และ แบบที่ 3 (ค)

22. แท่นพิมพ์เอทซิง (จากวิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์)



รูปที่ 3.3 แท่นพิมพ์เอทซิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ศึกษาผลของการละลายของสารในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxydized soybean oil, ESO)

3.3.1 ความสามารถในการละลายของเร็กซ์ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxydized soybean oil, ESO)

1. เตรียม ESO 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ โดยให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่ไวท์ปีสเร็กซ์ 3 กรัม ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งคนจนกระทั่งไวท์ปีสเร็กซ์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้เป็นสารละลายไวท์ปีสเร็กซ์เข้มข้น 30 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์

2. ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหลังจากการผสม 1 วัน และหลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์เพื่อสังเกตลักษณะทางกาย และบันทึกผลการทดลอง

3. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-2 โดยเปลี่ยนชนิดของเร็กซ์จากไวท์ปีสเร็กซ์ เป็นไมโครคริสตัลไลน์เร็กซ์, คาร์บูบาเร็กซ์ และพาราฟินเร็กซ์ ตามลำดับ

3.3.2 ความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxydized soybean oil, ESO)

1. เตรียม ESO 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ โดยให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส จากนั้นนำยางธรรมชาติเกรด STR 5L 15 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งปั่นจน จนกระทั่งยาง STR 5L ละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้เป็นสารละลายยางธรรมชาติเข้มข้น 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์

2. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพ และบันทึกผลการทดลองเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน

3. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนจากยางธรรมชาติเกรด STR 5L เป็นยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (Epoxydized natural rubber, ENR) เกรด Epoxyprene 25 (ENR-25)

3.3.3 ความสามารถในการละลายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxydized soybean oil, ESO)

1. เตรียม ESO 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นนำเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO) 0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งคนจนกระทั่งเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ละลายหมดได้เป็นสารละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์

2. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพ และบันทึกผลการทดลอง

3.4 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย AW

3.4.1 การเตรียมสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (สารละลาย A)

1. เตรียมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (Epoxydized soybean oil, ESO) 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นนำยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ เกรด ENR-25 10 กรัม ใส่ลงไปในบีกเกอร์

2. ให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งปั่นจนจนกระทั่งยางธรรมชาติ และน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารละลายยาง

เอกสารธรรมชาติอีพ็อกไซด์เข้มข้น 10 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดลองซ้ำในข้อ 1-2 โดยทำการเปลี่ยนยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์จาก 10 กรัม เป็น 13 และ 15 กรัม ได้เป็นสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 13 และ 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ ตามลำดับ

3.4.2 การเตรียมสารละลายไวท์ปีสแวกซ์ (สารละลาย AW)

1. นำสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1 มา 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมไวท์ปีสแวกซ์ 1 กรัม ลงในบีกเกอร์

2. ให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งปั่นกวนจนกระทั่งไวท์ปีสแวกซ์ ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 10 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 10 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์

3. ทดลองซ้ำในข้อ 1-2 โดยทำการเปลี่ยนจากไวท์ปีสแวกซ์ 1 กรัม เป็น 2 และ 3 กรัม และเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ ได้เป็นสารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 20 และ 30 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 10, 13 และ 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ แสดงสัญลักษณ์ และความหมาย ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สัญลักษณ์ และความหมายของสารละลายผสมระหว่างสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์กับไวท์ปีสแวกซ์

สารละลาย AW	
สัญลักษณ์	ความหมาย
A10W1	สารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 10 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 10 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์
A13W1	สารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 10 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 13 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์
A15W1	สารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 10 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์
A15W2	สารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 20 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์
A15W3	สารละลายไวท์ปีสแวกซ์เข้มข้น 30 pph ของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์เข้มข้น 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การบดผงเขม่าดำให้มีขนาดต่าง ๆ

1. การบดลดขนาดผงเขม่าดำ แบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1. บดด้วยโกร่งบดสาร โดยนำผงเขม่าดำใส่ลงไปโกร่งแล้วทำการบดจนผงเขม่าดำมีขนาดที่เล็กลง

วิธีที่ 2. บดด้วยเครื่องบดแบบลูกบอล หรือบอลมิลล์ (Ball mill) ที่มีความแตกต่างของลูกบด ดังนี้

- แบบที่ 1 ลูกบดขนาด 19 และ 13.6 มิลลิเมตร จำนวน 22 และ 5 เม็ด ตามลำดับ

- แบบที่ 2 ลูกบดขนาด 9.5, 10, 10.9, 15.9 และ 20 มิลลิเมตร จำนวน 20, 20, 20, 10 และ 10 เม็ด ตามลำดับ

จากนั้นนำผงเขม่าดำใส่ลงไปหม้อบดพร้อมทั้งใส่ลูกบดลงไป โดยแบบที่ 1 ทำการบดเป็นระยะเวลา 2, 4, 6 และ 8 วัน ส่วนแบบที่ 2 ทำการบดเป็นระยะเวลา 5 และ 8 วัน ตัวอย่างสัญลักษณ์ของผงเขม่าดำแบบต่าง ๆ แสดงดังนี้

CO = ผงเขม่าดำ ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด

CM = ผงเขม่าดำ ที่บดด้วยโกร่งบดสาร (Mortar)

CB = ผงเขม่าดำ ที่บดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (Ball mill) (แบบที่ 1)

CD = ผงเขม่าดำ ที่บดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (Ball mill) ที่มีปริมาณลูกบด และมีขนาดที่หลากหลายเพิ่มขึ้น (แบบที่ 2)

2, 4, 5, 6 และ 8 = ระยะเวลาในการบด (วัน)

2. นำตัวอย่างผงเขม่าดำ มาวัดขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดดิจิทัล รุ่น Dino-Lite กำลังขยาย 500x โดยสุ่มวัดขนาดอนุภาค 50 จุด พร้อมหาค่าเฉลี่ย

3. นำตัวอย่างผงเขม่าดำ มาตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น EVO[®] MA10 กำลังขยาย 1000x จากนั้นทำการวัดขนาดอนุภาค ทั้งหมด 20 จุด พร้อมหาค่าเฉลี่ย

3.6 การเตรียมสูตรหมึกพิมพ์

ขั้นตอนการเตรียมสูตรหมึกพิมพ์ มีดังต่อไปนี้

1. นำสารละลาย AW ปริมาณ ดังตารางที่ 3.4 ใส่ลงในปิกเกอร์

2. เติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ ปริมาณตามสูตรดังตารางที่ 3.4 โดยคิดเป็นความเข้มข้น 1 pph ของสารละลายผสมระหว่างสารละลาย AW กับน้ำมันชักแห้ง และผสมสารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้อุณหภูมิตั้งในการผสม

3. ผสมน้ำมันชักแห้ง ดังตารางที่ 3.4 ลงในปิกเกอร์ที่มีสารละลายผสมจากข้อที่ 2 และทำการผสมสารละลายให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

4. นำผงเขม่าดำ (Carbon black) ดังตารางที่ 3.4 ค่อย ๆ ใส่ลงไปปิกเกอร์ที่เตรียมได้จากข้อ 3 ผสมให้เข้ากันได้หมึกพิมพ์ตามสูตรที่ต้องการ

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมของหมึกพิมพ์

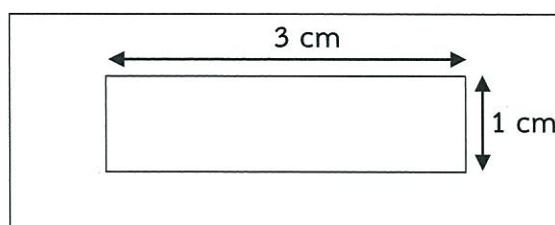
สูตรที่	ชื่อสูตร	สารละลาย AW (g)	B (g)	น้ำมัน ซีกแห้ง(g)		เขม่าดำ (g)
				L	T	
1	A10W1L2CO(1.7)B	7.5	0.1	2.5	-	1.7
2	A10W1L2CM(1.7)B	7.5	0.1	2.5	-	1.7
3	A10W1T2CM(1.7)B	7.5	0.1	-	2.5	1.7
4	A10W1L1T1CB2(1.7)B	7.5	0.1	1.25	1.25	1.7
5	A10W1L1T1CB2(1.7)	7.5	-	1.25	1.25	1.7
6	A13W1L1T1CB4(1.7)	7.5	-	1.25	1.25	1.7
7	A13W1L1T1CB6(2.5)	7.5	-	1.25	1.25	2.5
8	A13W1L1T1CB8(3.3)	7.5	-	1.25	1.25	3.3
9	A13W1L1T1CB8(4.9)	7.5	-	1.25	1.25	4.9
10	A13W1L1T1CB8(6.5)	7.5	-	1.25	1.25	6.5
11	A15W1L1T1CB8(6.5)	7.5	-	1.25	1.25	6.5
12	A15W2L1T1CB8(6.5)	7.5	-	1.25	1.25	6.5
13	A15W3L1T1CB8(6.5)	7.5	-	1.25	1.25	6.5
14	A15W3L1T1CD5(6.5)	7.5	-	1.25	1.25	6.5
15	A15W3L1T1CD8(6.5)	7.5	-	1.25	1.25	6.5
16	A15W3L2CD8(6.5)	7.5	-	2.5	-	6.5
17	A15W3T2CD8(6.5)	7.5	-	-	2.5	6.5

หมายเหตุ : B = เบนโซอีลเปอร์ออกไซด์
 L = น้ำมันลินสีด
 T = น้ำมันทัง
 L2 = ปริมาณโดยน้ำหนักของน้ำมันลินสีดในสารละลาย AW ผสมน้ำมันซีกแห้ง 25 เปอร์เซ็นต์
 T2 = ปริมาณโดยน้ำหนักของน้ำมันทังในสารละลาย AW ผสมน้ำมันซีกแห้ง 25 เปอร์เซ็นต์
 L1T1 = ปริมาณโดยน้ำหนักของน้ำมันทังผสมน้ำมันลินสีดในสารละลาย AW ผสมน้ำมันซีกแห้งชนิดละ 12.5 เปอร์เซ็นต์
 () = ปริมาณของเขม่าดำ ในสารละลาย AW ผสมน้ำมันซีกแห้ง ปริมาณรวม 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเบื้องต้น

1. ตัดแผ่นใสให้เป็นช่องขนาด 1x3 ตารางเซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผ่นใสช่องว่างขนาด 1x3 ตารางเซนติเมตร

2. นำสูตรหมึกพิมพ์ที่ได้ ปาดลงบนกระดาษพิมพ์ Farbrino etching ให้เต็มช่องของแผ่นใส
3. รอให้หมึกพิมพ์บนกระดาษพิมพ์แห้งสนิท จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไปทำการทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์

3.8 ขั้นตอนการพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคเอทซิง

การพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคเอทซิง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

3.8.1 การพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทพื้นราบโดยใช้แรงกดจากแท่นพิมพ์

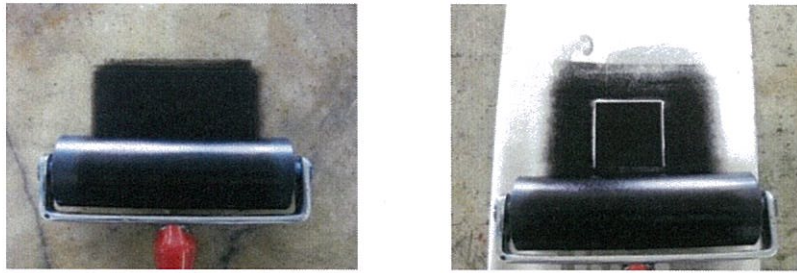
1. ตัดกระดาษอาร์ตมันหนา 400 แกรม ที่มีผิวมัน ขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร เป็นแม่พิมพ์



รูปที่ 3.5 กระดาษอาร์ตมันหนา 400 แกรมที่มีผิวมัน

2. ใช้ลูกกลิ้ง กลิ้งหมึกพิมพ์ให้เรียบเสมอกัน นำมากลิ้งลงบนแม่พิมพ์กระดาษด้านที่มีความมันให้เรียบเสมอกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การกลิ้งหมึกพิมพ์ลงบนแม่พิมพ์กระดาษ

3. นำแม่พิมพ์ด้านที่กลิ้งหมึกพิมพ์วางบนกระดาษพิมพ์ นำเข้าแทนพิมพ์ หมุนแทนพิมพ์เพื่อให้แรงกดทับถ่ายหมึกพิมพ์จากแม่พิมพ์ติดบนกระดาษพิมพ์



รูปที่ 3.7 การถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงสู่กระดาษจากแรงกดทับของแทนพิมพ์

4. รอให้หมึกพิมพ์บนกระดาษพิมพ์ ดังตัวอย่างรูปที่ 3.8 แห้งสนิท จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไปทำการทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์



รูปที่ 3.8 ภาพพิมพ์ประเภทพื้นราบ

3.8.2 การพิมพ์ภาพด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทร่องลึก

การพิมพ์ภาพจากหมึกพิมพ์ที่ซึ่งอยู่ในร่องแม่พิมพ์ผ่านแรงกดจากแทนพิมพ์ เพื่อให้หมึกพิมพ์ติดบนกระดาษพิมพ์เกิดเป็นภาพลักษณะลายเส้น และค่าระดับน้ำหนักจากหมึกพิมพ์

1. เตรียมแม่พิมพ์โลหะที่มีร่องลึก โดยแม่พิมพ์โลหะที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ในลักษณะที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

2. นำสูตรหมึกพิมพ์ที่ได้ อุดหมึกพิมพ์ลงในร่องให้ทั่วทั้งแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การอดหมึกลงในแม่พิมพ์

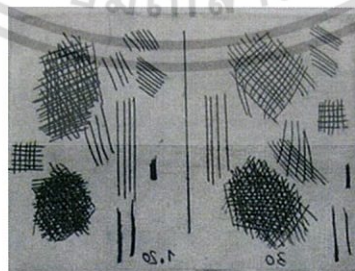
3. ใช้กระดาษลอกลายเซตผิวหน้าแม่พิมพ์ให้สะอาด เหลือหมึกพิมพ์ที่ขังอยู่เฉพาะในส่วน
ของร่องลึก



รูปที่ 3.10 ส่วนที่หมึกพิมพ์อยู่ในร่องของแม่พิมพ์โลหะ

4. พิมพ์ภาพโดยนำแม่พิมพ์โลหะวางบนแป้นรองพิมพ์ นำกระดาษพิมพ์ Farbrino etching
ชั้นวางทับบนแม่พิมพ์ แล้ววางทับด้วยกระดาษรองพิมพ์จำนวน 4 แผ่น ปิดทับด้วยผ้าสักหลาดรอง
พิมพ์อีกชั้นหนึ่ง ปรับแรงกดแทนพิมพ์ให้แน่นแล้วหมุนแทนพิมพ์ ได้ภาพที่มีลวดลายตามแบบแม่พิมพ์
โลหะ

5. ทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 1-5 โดยเปลี่ยนแม่พิมพ์โลหะจากรูปที่ 3.1 เป็นแม่พิมพ์
โลหะ ดังรูปที่ 3.2

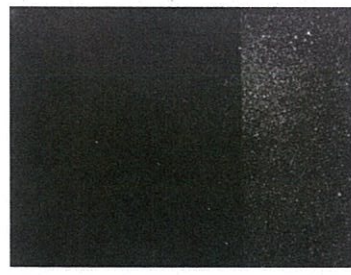


รูปที่ 3.11 ภาพพิมพ์ที่ได้ตามลักษณะของแม่พิมพ์แบบ Hard ground

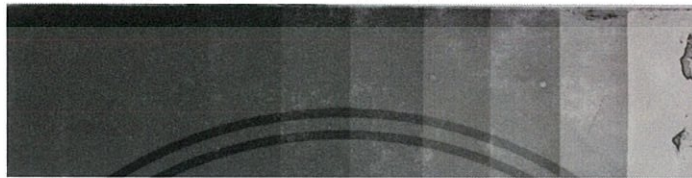
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

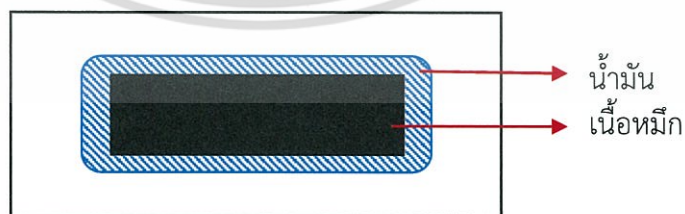
รูปที่ 3.12 ภาพพิมพ์ที่ได้ตามลักษณะของแม่พิมพ์แบบ Aquatint แบบที่ 1 (ก), แบบที่ 2 (ข) และแบบที่ 3 (ค)

6. รอให้ชิ้นงานแห้งสนิท จากนั้นนำชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ไปทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์

3.9 การทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์

3.9.1 การทดสอบการซึมของของน้ำมันบนกระดาษ Farbrino etching

1. ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง ตามหัวข้อที่ 3.7
2. เมื่อเตรียมชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นสังเกตลักษณะการซึมของน้ำมันบนกระดาษ Farbrino etching ว่าพบการซึมออกของน้ำมันหรือไม่ ซึ่งแสดงลักษณะการซึมของน้ำมันบนกระดาษ ดังรูปที่ 3.13 พร้อมบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 3.13 ลักษณะการซึมของน้ำมันบนกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 ทดสอบการแห้งตัวของหมึกพิมพ์

1. ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง ตามหัวข้อที่ 3.7
 2. เมื่อเตรียมชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทดสอบการแห้งที่ผิวของหมึกพิมพ์บนกระดาษ Farbrino etching โดยการใช้นิ้วสัมผัส
- หมายเหตุ : ลักษณะการแห้งที่ผิวเป็นการแห้งชั้นที่แห้งเฉพาะผิวหน้า เมื่อสัมผัสแล้วไม่เกิดรอยนิ้วมือบนผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่ม และเหนียว

3.9.3 ทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์

สังเกตการยึดติดเต็มพื้นที่ของหมึกพิมพ์บนกระดาษพิมพ์ จากข้อ 3.8.1 โดยรอให้หมึกพิมพ์แห้งสนิท และใช้ฟู่กันปัดลงบนหมึกพิมพ์บนกระดาษพิมพ์ตามตำแหน่งในบริเวณที่กำหนด 50 ครั้ง เพื่อดูการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ แสดงการทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์

3.9.4 การวัดเฉดสีด้วยเครื่องวัดสี

นำชิ้นงานจากข้อที่ 3.8.1 และ 3.8.2 แบบ Aquatint มาทำการวัดสีของชิ้นงานด้วยเครื่องวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D-1925 เพื่อเปรียบเทียบค่าของสีระหว่างสีของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ โดยเครื่องจะวัดเฉดสีได้เป็นค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งการวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D-1925 (Colorimeter Spectrophotometer) มีหลักการดังนี้

L^* : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L^* = 0 =$ Perfect black sample

$L^* = 100 =$ Perfect white sample

a^* : ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว (Red-Green)

a^* เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีแดง

a^* เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว

b^* : ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue)

b^* เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง

b^* เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน

ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการศึกษามลของค่า L^* เพียงอย่างเดียวในการเปรียบเทียบสีระหว่างหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

3.9.5 การหาค่าความหนืด

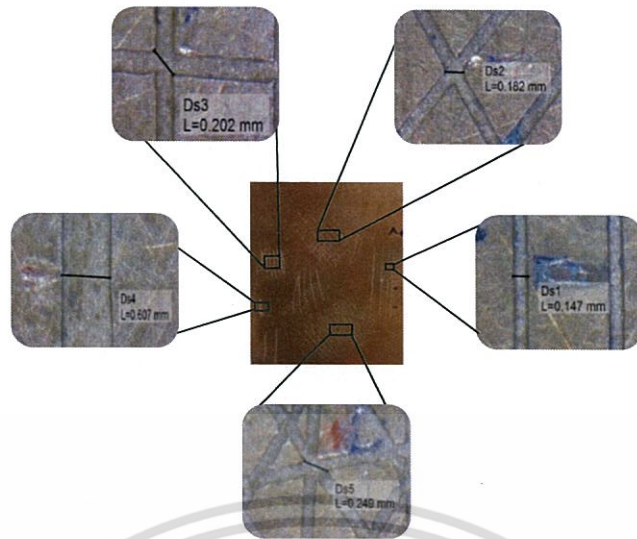
1. นำตัวอย่างหมึกพิมพ์ปริมาตร 50 ml ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml
2. จุ่มโรเตอร์เบอร์ 7 ลงในหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันซึ่งเชื่อมเข้ากับเครื่อง Brookfield Viscometer จากนั้นเลื่อนโรเตอร์ลงมาถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้
3. ตั้งความเร็วรอบ 100 rpm หลังจากมอเตอร์หมุนเป็นเวลา 30 วินาที
4. อ่านค่า และจดบันทึกเป็นทศนิยมตำแหน่งเดียว
5. คำนวณค่าความหนืดในหน่วยเซนติพอยส์ (cp)



รูปที่ 3.15 การทดสอบความหนืด

3.9.6 การทดสอบความคมชัดของลวดลายเทียบกับแม่พิมพ์โลหะ

1. นำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 3.8.2 การพิมพ์แม่พิมพ์ร่องลึกแบบ Hard ground ลักษณะลายเส้นมาทดสอบความคมชัด
 2. วัดลวดลายของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดดิจิทัล รุ่น Dino-Lite กำลังขยาย 60x ดูความกว้าง และความคมชัดของลวดลายที่ถ่ายลงบนกระดาษเทียบกับลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะ โดยวัดระยะห่างจากตำแหน่งที่กำหนดของแม่พิมพ์โลหะ ดังนี้
 - D_{s1} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.155 mm
 - D_{s2} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 0.193 mm
 - D_{s3} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 0.228 mm
 - D_{s4} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 4 เท่ากับ 0.606 mm
 - D_{s5} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 5 เท่ากับ 0.261 mm
- วัดระยะห่างเพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งต่าง ๆ ของลวดลายที่ถ่ายลงบนกระดาษกับระยะห่างจากตำแหน่งต่าง ๆ ของแม่พิมพ์โลหะ



รูปที่ 3.16 ตำแหน่งของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะที่ใช้ตรวจสอบความคมชัด

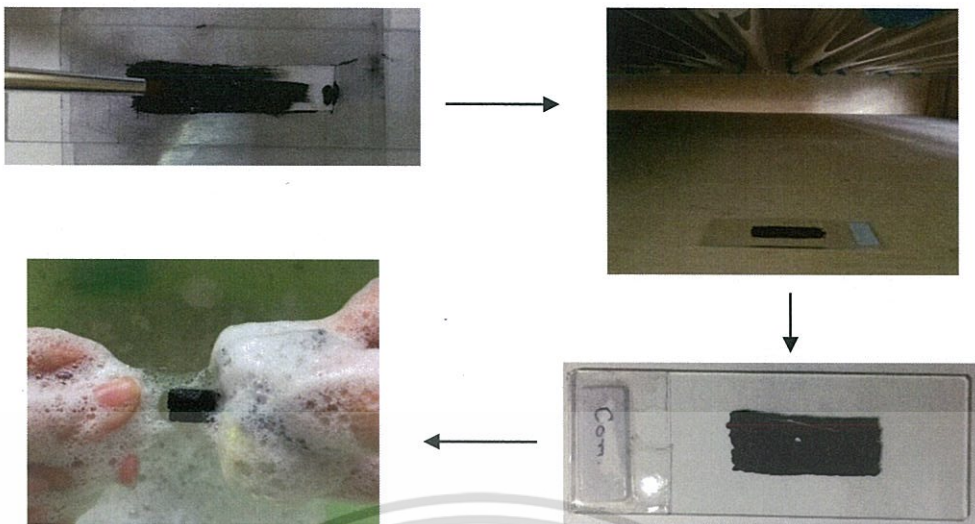
การคำนวณผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์โลหะ (D_s) กับระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (D_p) คำนวณได้จาก

$$\% \Delta D_{SP} = \frac{\Delta D_{SP}}{D_s} \times 100$$

เมื่อ D_s คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะ
 D_p คือ ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ
 ΔD_{SP} คือ ผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะกับลวดลายบนกระดาษ

3.9.7 การตรวจวัดความสามารถในการชะล้าง

1. ตัดแผ่นใสให้เป็นช่องขนาด 1×3 ตารางเซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4
2. นำสูตรหมึกพิมพ์ที่ได้ ปาดลงบนกระดาษจกสไลด์โดยใช้ฟู่กัน เบอร์ 7 ในการปาดหมึกให้เต็มช่องของแผ่นใส
3. จากนั้นนำกระดาษจกสไลด์ที่มีหมึกพิมพ์ ไปวางในเครื่องฉายรังสี Ultraviolet (UV) เป็นระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จนหมึกพิมพ์เกิดการแห้งตัว
4. นำกระดาษจกสไลด์ที่มีหมึกพิมพ์ ไปล้างด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ
5. สังเกตความสามารถในการชะล้างของน้ำยาซักล้างสูตรน้ำว่าสามารถชะล้างหมึกพิมพ์ได้หรือไม่



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนทดสอบความสามารถในการชะล้าง

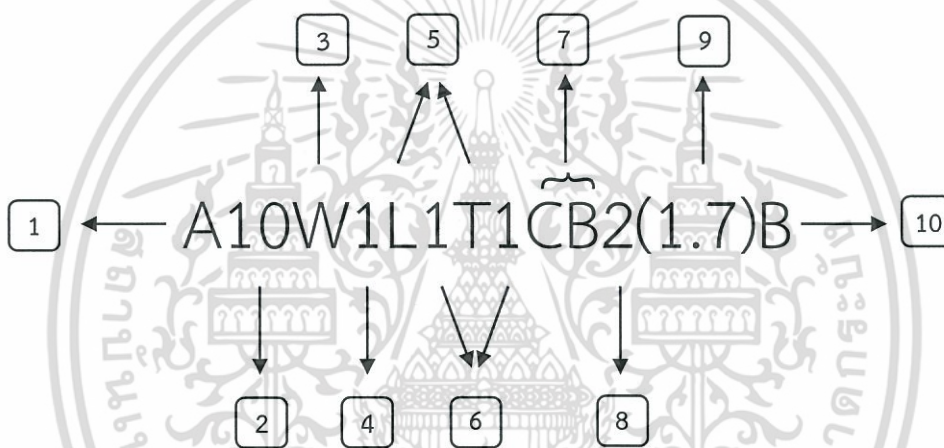


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่มีองค์ประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์เป็นฐานหมึก ผสมร่วมกับยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ เกรด ENR-25, น้ำมันลินสีด, น้ำมันทัง, แวกซ์, เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ และเขม่าดำ โดยศึกษาเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบการซีมีของน้ำมันบนกระดาษ Farbrino etching, การแห้งตัวของหมึกพิมพ์, การยึดติดของหมึกพิมพ์, ความคมชัดของลวดลาย, เฉดสีของเนื้อหมึกพิมพ์, ความหนืดของเนื้อหมึกพิมพ์, อายุการใช้งานและความสามารถในการชะล้างของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้เทียบกับเนื้อหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ โดยกำหนดสัญลักษณ์ของสูตรหมึกพิมพ์ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สัญลักษณ์ของสูตรหมึกพิมพ์

คำอธิบายสัญลักษณ์

หมายเลข 1 คือ สารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์

หมายเลข 2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์

10 = 10 pph

13 = 13 pph

15 = 15 pph

หมายเลข 3 คือ สารละลายไวท์ปีส์แวกซ์ในสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ในน้ำมันถั่วเหลือง-อีพ็อกซีไดซ์ (สารละลาย AW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 4 คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไวท์ปีส์แวกซ์ในสารละลายยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธไซในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธไซ

1 = 10 pph

2 = 20 pph

3 = 30 pph

หมายเลข 5 คือ ชนิดน้ำมันชักแห้ง

L = น้ำมันลินสีด

T = น้ำมันทัง

หมายเลข 6 คือ ปริมาณโดยน้ำหนักของน้ำมันชักแห้งในสารละลาย AW ผสมน้ำมันชักแห้ง

1 = 12.5 เปอร์เซ็นต์

2 = 25 เปอร์เซ็นต์

หมายเลข 7 คือ เขม่าดำ CO = เขม่าดำแบบไม่บด

CM = เขม่าดำแบบบดโกร่ง

CB = เขม่าดำแบบบดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (แบบที่ 1)

CD = เขม่าดำแบบบดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (แบบที่ 2)

หมายเลข 8 คือ ระยะเวลาในการบดเขม่าดำ 2, 4, 5, 6 และ 8 วัน

หมายเลข 9 คือ ปริมาณของเขม่าดำ (pph ของสารละลาย AW ผสมน้ำมันชักแห้ง)

1.7 = 17 pph

2.5 = 25 pph

3.3 = 33 pph

4.9 = 49 pph

6.5 = 65 pph

หมายเลข 10 คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์

มี B = ใส่เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์

ไม่มี B = ไม่ใส่เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์

4.1 ผลของการละลายของสารในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO)

4.1.1 ความสามารถในการละลายของแวกซ์ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESO)

เตรียม ESO 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่แวกซ์ที่ทำการศึกษา 3 กรัม ลงในบีกเกอร์ พร้อมปั่นจนจนแวกซ์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารละลายแวกซ์เข้มข้น 30 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ ตั้งทิ้งไว้หลังจากการผสมเป็นระยะเวลา 1 วัน และผ่านไป 1 สัปดาห์ จากนั้นสังเกตลักษณะทางกายภาพของสารละลาย แสดงผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายแวกซ์ชนิดต่าง ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 วัน และ 1 สัปดาห์

ชนิดแวกซ์	ลักษณะทางกายภาพ	
	หลังผสม 1 วัน	หลังผสม 1 สัปดาห์
ไวท์ปีส์แวกซ์	สีขาวขุ่น ไม่แยกชั้น	สีขาวขุ่น ไม่แยกชั้น
ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์	สีขาวขุ่นอมเหลือง ไม่แยกชั้น	สีขาวขุ่นอมเหลือง ไม่แยกชั้น
คาร์นูบาแวกซ์	สีเหลืองขุ่น ไม่แยกชั้น	แยกชั้น สารสีเหลืองใสอยู่ชั้นบน สารสีเหลืองขุ่นอยู่ชั้นล่าง
พาราฟินแวกซ์	สีขาวขุ่น ไม่แยกชั้น ผิวหน้าแข็ง ชั้นเล็กน้อย	แยกชั้น สารสีขาวขุ่นอยู่ชั้นบน สารสีใสอยู่ชั้นล่าง

จากตารางที่ 4.1 พบว่าพาราฟินแวกซ์ และคาร์นูบาแวกซ์ เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการละลายในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ โดยตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เกิดการแยกชั้นของแวกซ์ ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่ไวท์ปีส์แวกซ์ และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ไม่เกิดการแยกชั้นสามารถละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีจึงนำไวท์ปีส์แวกซ์ และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์มาทำการทดสอบผสมสูตรหมึกพิมพ์เบื้องต้น โดยนำ ESO 25 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ แล้วใส่แวกซ์ที่ทำการศึกษา 1.25 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พร้อมคนจนแวกซ์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารละลายแวกซ์เข้มข้น 5 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ จากนั้นผสมน้ำมันลินสีด 1.5 กรัม และเขม่าดำที่ไม่ผ่านการบด (CO) 17 กรัม เพื่อให้มีความหนืดเทียบเท่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ได้เป็นสูตรหมึกพิมพ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน และ 1 สัปดาห์ สังเกตลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์ แสดงผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์ชนิดต่าง ๆ เมื่อทำการตั้งทิ้งไว้ 1 วัน และ 1 สัปดาห์

ชนิดของเรอ็กซ์ ในสูตรหมึกพิมพ์	ลักษณะทางกายภาพ	
	หลังผสม 1 วัน	หลังผสม 1 สัปดาห์
ไวท์ปีสเรอ็กซ์	สีดําเงา หนืดข้น	สีดําเงา หนืดข้น สามารถไหลได้
ไมโครคริสตัลไลน์เรอ็กซ์	สีดําเงา เนื้อหมึกเริ่มเกิดการ แข็งตัว	สีดําด้าน เนื้อหมึกแห้งแข็งจับตัว เป็นก้อน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าไมโครคริสตัลไลน์เรอ็กซ์ เมื่อทำการผสมสูตรหมึกพิมพ์แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เนื้อหมึกมีลักษณะสีดําด้าน เกิดการแห้งแข็งจับตัวเป็นก้อน ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากไมโครคริสตัลไลน์เรอ็กซ์ มีสมบัติในการดูดซับน้ำมันได้มากกว่าเรอ็กซ์ชนิดอื่น ๆ ทำให้หมึกพิมพ์มีปัญหาด้านการเก็บรักษาในระยะเวลาสั้น ไม่มีเสถียรภาพเพียงพอในการผสมสูตรหมึกพิมพ์ ในขณะที่สูตรหมึกพิมพ์ที่ผสมไวท์ปีสเรอ็กซ์ เมื่อตั้งทิ้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เนื้อหมึกพิมพ์มีลักษณะสีดําเงา หนืดข้น ไม่เกิดการแห้งแข็งจับตัวเป็นก้อน และยังสามารถใช้งานได้จึงนำไวท์ปีสเรอ็กซ์มาเป็นส่วนผสมในการผสมสูตรหมึกพิมพ์ เพื่อเพิ่มความหนืดของหมึกพิมพ์

4.1.2 ความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (Epoxidized soybean oil, ESO)

ทำการเลือกชนิดของยางที่ใช้ผสมหมึกพิมพ์ เพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการยึดติด โดยเตรียม ESO 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ แล้วใส่ยางธรรมชาติที่ทำการศึกษา 15 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นจนจนกระทั่งยางธรรมชาติละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้เป็นสารละลายยางธรรมชาติเข้มข้น 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วสังเกตลักษณะทางกายภาพ แสดงผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายยางธรรมชาติชนิดต่าง ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 3 วัน

ชนิดยางธรรมชาติ	ลักษณะทางกายภาพ หลังผสม 3 วัน	เวลาในการ ละลาย (ชั่วโมง)
ยางธรรมชาติ เกรด STR 5L	สารละลายเหลืองขุ่นเล็กน้อย มีกลิ่นฉุน หนืดเล็กน้อย ไม่เกิดการแยกชั้น	18
ยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ เกรด ENR-25	สารละลายสีเหลือง ใสกว่าสูตร STR 5L มีกลิ่นฉุน หนืดเล็กน้อย ไม่เกิดการแยกชั้น	12

จากตารางที่ 4.3 พบว่าทั้งยางธรรมชาติเกรด STR 5L และยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการละลายในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน ไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี แต่เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการหลอมพบว่ายางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ใช้เวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่ายางธรรมชาติเกรด STR 5L ที่ใช้เวลา 18 ชั่วโมง เนื่องจากยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ และน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์มีหมู่อีพอกซิเช่นเดียวกัน ทำให้ความสามารถในการละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี รวมถึงยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ มีสมบัติความมีขั้ว เนื่องจากมีหมู่อีพอกซิที่อยู่บนโครงสร้าง ทำให้มีประโยชน์

ไม่ว่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานประเภทสารยึดติด หรือกาว (Adhesives) จึงเลือกยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์มาทำการผสมสูตรหมึกพิมพ์

4.1.3 ความสามารถในการละลายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ (Epoxidized soybean oil, ESO)

ศึกษาการละลายของตัวริเริ่มปฏิกิริยา คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BPO) เพื่อช่วยเร่งการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ โดยเตรียม ESO 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นใส่ BPO 0.1 กรัม พร้อมคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้สารละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 pph ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้แล้วสังเกตลักษณะทางกายภาพ พบว่าได้สารละลายใส เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ เนื่องจากเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์มีขั้วต่ำจึงสามารถละลายในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ที่ประกอบไปด้วยส่วนที่มีขั้ว และไม่มีขั้ว งานวิจัยนี้จึงเลือกเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์มาเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา เพื่อช่วยเร่งการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ ในการผสมสูตรหมึกพิมพ์

จากผลการทดสอบการละลายของสารในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ข้างต้น พบว่าไวท์ปีส์-แวกซ์, ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ เกรด ENR-25 และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ สามารถนำมาผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ได้ดี เพื่อใช้ในการผสมสูตรหมึกพิมพ์ในหัวข้อที่ 4.2

4.2 การผสมสูตรหมึกพิมพ์

ส่วนประกอบของหมึกพิมพ์ประกอบด้วย ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไธซ์ เกรด ENR-25 ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไธซ์ ผสมร่วมกับไวท์ปีส์แวกซ์ (สารละลาย AW), น้ำมันชักแห้ง, เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ และผงเขม่าดำ โดยทำการผสมสูตรหมึกพิมพ์ตามหัวข้อที่ 3.6 ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.2.1 การใช้ผงเขม่าดำที่ไม่ผ่านการบด (CO) ในการผสมสูตรหมึกพิมพ์

ทำการผสมสูตรหมึกพิมพ์ตามหัวข้อที่ 3.6 ซึ่งใช้เขม่าดำที่ไม่ผ่านการบด (CO) ในการผสม ได้เป็นสูตร A10W1L2CO(1.7)B โดยหมึกพิมพ์ที่ได้มีลักษณะสีเทา เงามันหมึกพิมพ์มีความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ และเมื่อนำไปถ่ายโอนภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคเอทชิงแบบพื้นราบ แสดงดังรูปที่ 4.2 จากภาพสังเกตเห็นได้ว่ามีลักษณะกลุ่มก้อนของเขม่าดำกระจายตัวอยู่ทั่วภาพพิมพ์ ไม่เรียบเนียน ส่งผลให้ภาพที่ได้ไม่สวยงาม เนื่องจากเขม่าดำมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน และมีการหลุดของเขม่าดำ ดังนั้นในการปรับปรุงสูตรหมึกพิมพ์ต่อไปจึงทำการบดเขม่าดำให้มีขนาดเล็กลง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ภาพพิมพ์แบบพื้นราบของสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก) เทียบกับสูตรหมึกพิมพ์ A10W1L2CO(1.7)B (ข)

4.2.2 ผลของชนิดน้ำมันชักแห้ง

ในการทดลองนี้อุณหภูมิของหมึกพิมพ์ก่อนนำมาผสมสูตรได้ผ่านขั้นตอนการบดด้วยโกร่ง เพื่อลดขนาดอนุภาคก่อนทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ใช้ไขมันลินสีด A10W1L2CM(1.7)B และสูตรที่ใช้ไขมันทั้ง A10W1T2CM(1.7)B แสดงผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลักษณะเนื้อหมึก และอายุการใช้งานในการจัดเก็บของเนื้อหมึกสูตรต่าง ๆ

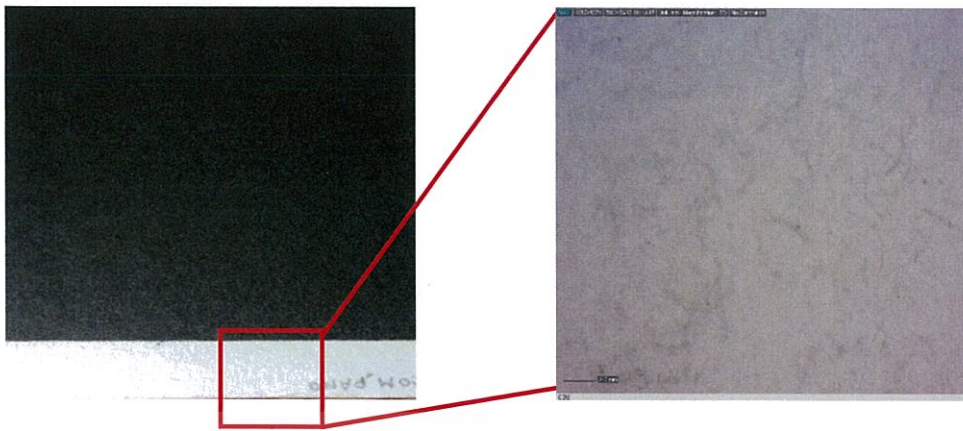
สูตร	ลักษณะเนื้อหมึก	อายุการใช้งาน
A10W1L2CM(1.7)B	สีดำเทา เงาม ความหนืดน้อยกว่าหมึกเชิงพาณิชย์	มากกว่า 1 เดือน
A10W1T2CM(1.7)B	สีดำเทา เงาม ความหนืดน้อยกว่าหมึกเชิงพาณิชย์	1 สัปดาห์

หมายเหตุ

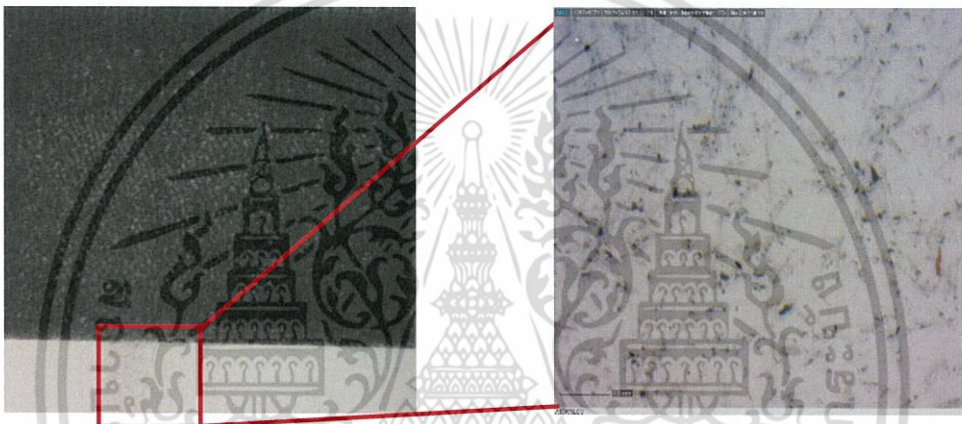
อายุการใช้งาน หมายถึง ระยะเวลานับตั้งแต่หลังผสมจนกระทั่งเกิดชั้นแผ่นฟิล์มบนผิวหน้าของหมึกพิมพ์

จากตารางที่ 4.4 พบว่าหมึกพิมพ์ทั้ง 2 สูตร เมื่อทำการทดสอบการยึดติดโดยใช้ฟูกันปิด มีการหลุดของเขม่าดำ โดยสูตร A10W1T2CM(1.7)B ที่ใช้ไขมันทั้งเป็นส่วนผสม มีปริมาณการหลุดของผงเขม่าดำน้อยกว่าสูตร A10W1L2CM(1.7)B ที่ใช้ไขมันลินสีดเป็นส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 4.3 รวมถึงสูตร A10W1T2CM(1.7)B เมื่อมีการปาดหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษมีการแห้งตัวได้เร็วกว่าสูตร A10W1L2CM(1.7)B แต่มีอายุการใช้งาน และการเก็บรักษาที่สั้นกว่า เมื่อตั้งหมึกพิมพ์ทิ้งไว้เป็นระยะเวลาครบ 1 สัปดาห์ สังเกตได้จากการเกิดชั้นฟิล์มแห้งแข็งบนชั้นผิวของเนื้อหมึกพิมพ์ ซึ่งต้องทำการเปิดหน้าชั้นฟิล์มด้านบนจึงสามารถใช้งานหมึกพิมพ์ได้ ในขณะที่สูตร A10W1L2CM(1.7)B ไม่เกิดชั้นฟิล์มขึ้นบนชั้นผิวของเนื้อหมึกพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 4.4

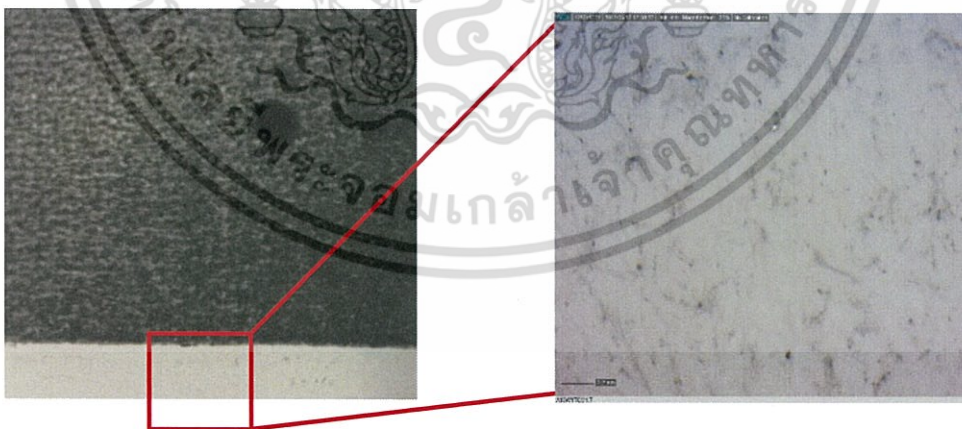
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



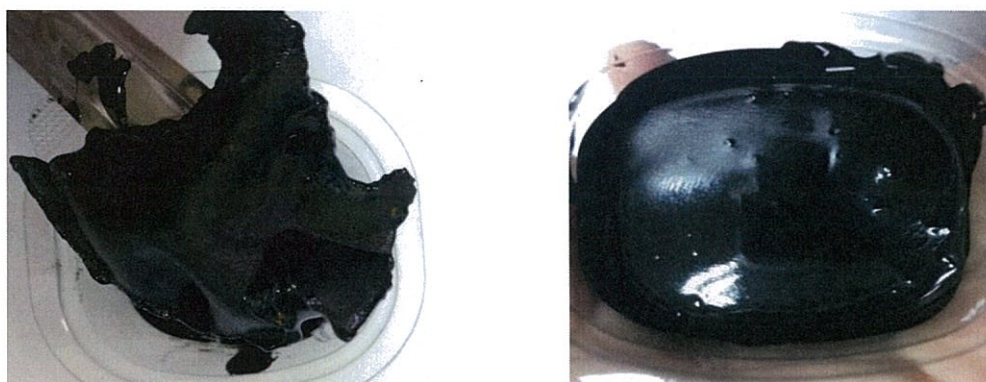
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 ผลการหลุดของเขม่าดำของสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A10W1L2CM(1.7)B (ข) และสูตร A10W1T2CM(1.7)B (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

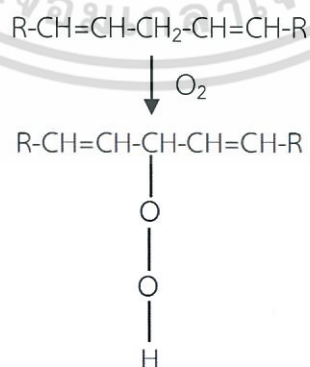


(ก)

(ข)

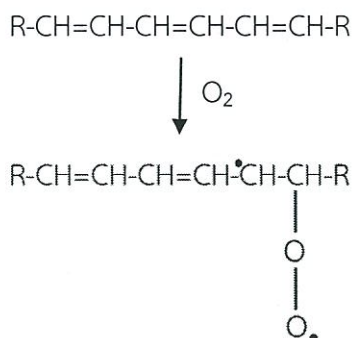
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่เกิดชั้นฟิล์มบนผิวหมึกพิมพ์ (ก) และไม่เกิดชั้นฟิล์มบนผิวหมึกพิมพ์ (ข)

จากงานวิจัยของอาจารย์พงศ์ยุทธ์ จันทอง และคณะ [67] กล่าวว่ากระบวนการแห้งตัวของหมึกพิมพ์มีด้วยกันหลายวิธี อาจเกิดจากการแห้งด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายวิธีร่วมกัน เช่น การแห้งตัวโดยการระเหยของตัวทำละลาย (Evaporation) การแห้งตัวโดยการซึมผ่าน (Penetration) การแห้งตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation drying) เป็นต้น ซึ่งการแห้งตัวโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมึกพิมพ์เกิดจากกรดไขมันในน้ำมันที่มีพันธะคู่อย่างน้อย 2 พันธะขึ้นไป สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศแล้วเกิดโครงสร้างเชื่อมขวาง (Cross-linked network) โดยทั่วไปกรดไขมันเกิดการแห้งตัว หรือเป็นชั้นฟิล์มโดยการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางซึ่งเกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ตำแหน่งเมทิลีน (Methylene, $-\text{CH}_2-$) และเป็นตำแหน่งแอลฟาของพันธะคู่ทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) แล้วแตกตัวเพื่อเชื่อมกับสายโซ่ของกรดไขมันโมเลกุลข้าง ๆ และเนื่องจากในสูตรหมึกพิมพ์มีส่วนประกอบของน้ำมันลินสีดที่มีกรดไขมันแบบไม่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว (Non-conjugated systems) หรือน้ำมันทั้งที่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว (Conjugated systems) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมีของกรดไขมัน แสดงดังรูปที่ 4.5-4.6



รูปที่ 4.5 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว [67]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันที่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว [67]

ในกรณีของน้ำมันลินสีด (ปฏิกิริยาเกิดดังรูปที่ 4.5) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น สามารถสลายตัวโดยการแตกพันธะ O-O (2.2-2.3) อนุมูลอิสระที่ปลายของโมเลกุลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันรวมทั้งการเชื่อมโยงในโมเลกุล หรือ Cross-linking (2.4-2.7) ได้เป็นฟิล์มแข็งที่มีโครงสร้างแน่นหนา ส่วนในกรณีของน้ำมันทั้ง (ปฏิกิริยาเกิดดังรูปที่ 4.6) อนุมูลอิสระสามารถเกิดการเชื่อมโยงกับตำแหน่งพันธะคู่ หรืออัลไลลิกคาร์บอนได้เกิดเป็นฟิล์มแข็งที่รวดเร็วกว่าน้ำมันลินสีด

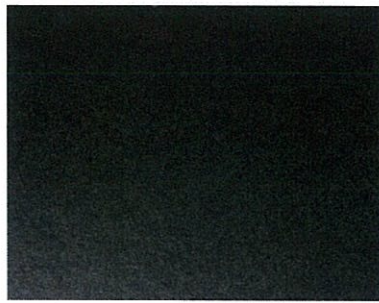


จากการอ้างอิงผลการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำมันลินสีด และน้ำมันทั้ง ด้วยโหมด ATR-FTIR ของ Z.O Oymane และคณะ [63] กล่าวว่า ก่อนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันลินสีดตรวจพบพีด *cis*-C=C-H bending ที่ 723 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของ CH_2 skeletal ในขณะที่น้ำมันทั้ง พบพีดของพันธะคู่สลับเดี่ยว ที่ 990 และ 965 cm^{-1} กรณีของน้ำมันลินสีด ขณะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าความเข้มพีดของพันธะคู่สลับเดี่ยวในช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้น แล้วลดต่ำลงหลังจากถึงจุดที่มีความเข้มพีดสูงที่สุด ส่วนน้ำมันทั้งเกิดการลดลงของพีดพันธะคู่สลับเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง และหลังจากการผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นระยะเวลา 90 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ปรากฏเพียงพีดของ *Isolated trans*-C=C-H ขนาดเล็กที่ 970 cm^{-1}

อย่างไรก็ตามจากที่กล่าวไปข้างต้นถึงแม้สูตร A10W1T2CM(1.7)B ที่มีน้ำมันทั้งเป็นส่วนผสม มีเสถียรภาพต่ำ อายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าสูตรน้ำมันลินสีด คือ สูตร A10W1L2CM(1.7)B แต่ทั้ง 2 สูตร ต่างมีอายุการเก็บรักษาที่มากกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ โดยหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์สามารถเกิดขึ้นฟิล์มแข็งอย่างสมบูรณ์ภายใน 3 วัน

สูตรหมึกพิมพ์สูตร A10W1L2CM(1.7)B และสูตร A10W1T2CM(1.7)B ได้นำไปทำการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบพื้นราบ แสดงดัง

เอกสารรูปที่ 4.7 และด้วยเทคนิคภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 1) แสดงดังรูปที่ 4.8 ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.7 ภาพพิมพ์พื้นราบของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A10W1L2CM(1.7)B (ข) และ สูตร A10W1T2CM(1.7)B (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.8 ภาพพิมพ์เทคนิคภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 1) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A10W1L2CM(1.7)B (ข) และสูตร A10W1T2CM(1.7)B (ค)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับเพื่อการศึกษาเท่านั้น โปรดสงวนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

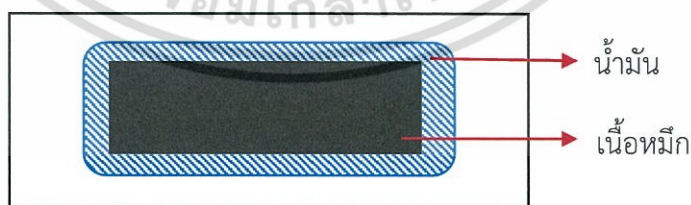
จากรูปที่ 4.7 สังเกตเห็นได้ว่าภาพพิมพ์พื้นราบที่ได้นั้นมีการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษได้ไม่สมบูรณ์ และจากรูปที่ 4.8 สังเกตได้ว่าหมึกพิมพ์ไม่สามารถถ่ายโอนเข้าไปในร่องของแม่พิมพ์โลหะที่มีความละเอียดสูงได้ ส่งผลให้ภาพพิมพ์ที่ได้มีความคมชัดต่ำ ไม่มีคุณภาพ เมื่อเทียบกับภาพพิมพ์ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

สาเหตุดังกล่าวสันนิษฐานว่าขนาดของเขม่าดำยังคงมีขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดของร่องแผ่นแม่พิมพ์โลหะ ดังนั้นในการปรับปรุงสูตรหมึกพิมพ์ขั้นต่อไปจึงทำการลดขนาดเขม่าดำโดยใช้เครื่องบดบอลมิลล์ และเพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของหมึกพิมพ์ และปรับปรุงสมบัติการยึดติดให้ดีกว่าสูตร A10W1L2CM(1.7) จึงทำการผสมสัดส่วนของน้ำมันทั้ง และน้ำมันลินสีดเข้าด้วยกัน

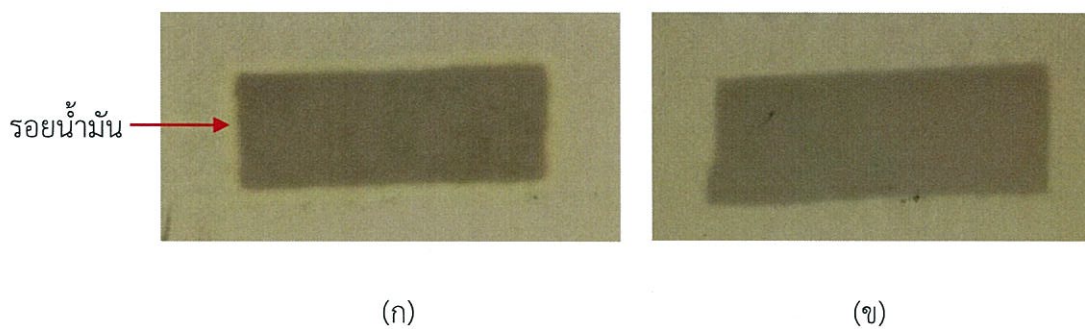
4.2.3 การลดขนาดเขม่าดำ ด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (แบบที่ 1)

สูตรที่ใช้ในการศึกษา คือ สูตร A10W1L1T1CB2(1.7)B เป็นสูตรที่มีการผสมอัตราส่วนของน้ำมันลินสีด และน้ำมันทั้งด้วยอัตราส่วนที่เท่ากัน และใช้เขม่าดำที่มีการบดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (แบบที่ 1) เป็นเวลา 2 วัน ผลที่ได้พบว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เริ่มเกิดชั้นฟิล์มบริเวณผิวของหมึกพิมพ์ แต่เกิดชั้นฟิล์มแข็งอย่างสมบูรณ์ เมื่อครบ 2 สัปดาห์ โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับสูตร A10W1T2CM(1.7)B รวมถึงภาพพิมพ์ที่ได้ยังคงมีความคมชัดต่ำ และยังเกิดการหลุดของเขม่าดำเนื่องจากขนาดของเขม่าดำยังคงมีขนาดใหญ่จึงทำการบดเพิ่มเพื่อลดขนาดอนุภาคของเขม่าดำในสูตรหมึกพิมพ์ต่อไป

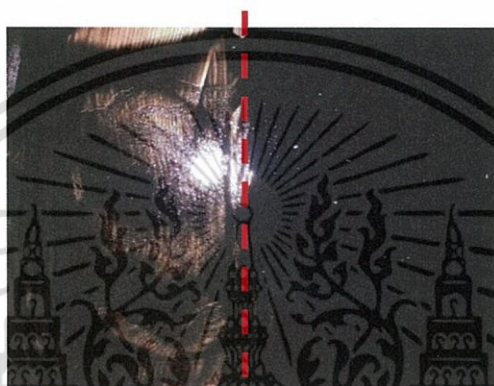
นอกจากนี้พบว่าหลังจากที่ทำการปาดหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching สังเกตเห็นได้ว่ามีรอยซึมสีเหลืองเนื่องจากของเหลวเกิดขึ้น สันนิษฐานว่าเกิดจากการมีปริมาณ ESO มากเกินไป แสดงลักษณะการซึม ดังรูปที่ 4.9 และตัวอย่างการซึมของสูตรหมึกพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งคาดว่ายังส่งผลต่อกระบวนการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์ลงสู่กระดาษ คือ เนื้อหมึกไม่เกาะติดแม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 4.11 และภาพพิมพ์ที่ได้มีรอยเปื้อนสีเทาทั่วทั้งชิ้นงาน ไม่สวยงาม แสดงดังรูปที่ 4.12 เนื่องจาก ESO ที่มากเกินไปพองอนุภาคเขม่าดำขึ้นมาอยู่หน้าแม่พิมพ์นอกเหนือบริเวณร่องลวดลายของแม่พิมพ์โลหะ ดังนั้นการพัฒนาสูตรหมึกพิมพ์ต่อไปจึงทำการเพิ่มปริมาณยาง ENR-25 เพื่อลดปริมาณสัดส่วนของเหลวในสูตรหมึกพิมพ์



รูปที่ 4.9 ลักษณะการซึมของน้ำมันหลังการปาดหมึกพิมพ์



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพถ่ายการซีมของสูตรหมึกพิมพ์มีการซีม (ก) และไม่ซีม (ข) ด้านหลังกระดาษ



รูปที่ 4.11 ลักษณะของเนื้อหมึกที่ไม่เกาะแม่พิมพ์ (ก) และเกาะแม่พิมพ์ (ข)



รูปที่ 4.12 ภาพพิมพ์ที่ไม่มีรอยเปื้อน (ก) และภาพพิมพ์ที่มีรอยเปื้อน (ข)

4.2.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ในสูตรหมึกพิมพ์

จากสูตรหมึกพิมพ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเมื่อทำการทดสอบสมบัติการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ ดังหัวข้อที่ 3.9.2 พบว่าหมึกพิมพ์ใช้เวลาในการแห้งตัวนานกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แม้จะมีการผสม เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาซึ่งช่วยเร่งการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ดังที่กล่าว

ในหัวข้อ 2.7 จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ จากการสังเกตระยะเวลาใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การสงวนเพื่อประโยชน์ของผู้อื่น โดยผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแห้งตัวเมื่อปาดลงบนกระดาษ Farbrino etching ของหมึกพิมพ์สูตร A10W1L1T1CB2(1.7)B ซึ่งใส่ BPO กับสูตร A10W1L1T1CB2(1.7) ที่ไม่ใส่ BPO เปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แสดงผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลระยะเวลาการแห้งตัวของหมึกพิมพ์

สูตรหมึกพิมพ์	ระยะเวลาในการแห้งตัว (วัน)
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	2
A10W1L1T1CB2(1.7)B	20
A10W1L1T1CB2(1.7)	20

จากตารางที่ 4.5 พบว่าสูตร A10W1L1T1CB2(1.7)B มีระยะเวลาการแห้งตัวประมาณ 20 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับสูตร A10W1L1T1CB2(1.7) ที่มีระยะเวลาการแห้งตัวประมาณ 20 วันเช่นเดียวกัน โดยทั้ง 2 สูตรใช้เวลาในการแห้งตัวมากกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแห้งตัวได้ภายใน 2 วัน จึงกล่าวได้ว่าเบนโซิลเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในสูตรหมึกพิมพ์นี้ไม่มีผลต่อการเร่งการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ สันนิษฐานว่าเนื่องมาจากเบนโซิลเปอร์ออกไซด์มีอุณหภูมิการแตกตัวที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามการทดสอบการแห้งตัวดังกล่าว เป็นการเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่ค่อนข้างหนา แต่ในการใช้งานจริงความหนาของลวดลายภาพมีความบางกว่ามาก ซึ่งหมึกพิมพ์สามารถแห้งตัวได้ ดังนั้นในการพัฒนาสูตรหมึกพิมพ์ต่อไปจึงตัดเบนโซิลเปอร์ออกไซด์ออก

4.2.5 ผลของปริมาณเขม่าดำในสูตรหมึกพิมพ์

สูตรที่ใช้ในการศึกษา คือ สูตร A13W1L1T1CB4(1.7) โดยเป็นสูตรที่มีการเพิ่มปริมาณเนื้อยาง โดยปรับความเข้มข้นของยางอีพ็อกซีไดซ์จาก 10 pph เป็น 13 pph ของน้ำมันถั่วเหลือง-อีพ็อกซีไดซ์ และใช้เขม่าดำที่มีการบดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (แบบที่ 1) เป็นเวลา 4 วัน พบว่าเมื่อปาดหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching มีรอยซึมของ ESO ลดน้อยลง รวมถึงขณะทำการพิมพ์ด้วยเทคนิคเอทซิ่ง เนื้อหมึกมีการเกาะติดแม่พิมพ์ดีขึ้น และภาพพิมพ์ที่ได้มีรอยเปื้อนสีเทาลดน้อยลง แต่มีความคมชัดมากขึ้นเมื่อเทียบกับสูตร A10W1L1T1CB2(1.7) แต่ความเข้มของหมึกพิมพ์ยังน้อยกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

ดังนั้นจึงทำการเพิ่มปริมาณของเขม่าดำ เพื่อเพิ่มความเข้มสีของหมึกพิมพ์ และเป็นการช่วยลดปริมาณของ ESO ที่ซึมออกมาบนกระดาษ Farbrino etching เนื่องจากเขม่าดำมีสมบัติในการดูดซับน้ำมันได้ เมื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากขึ้น [29] ส่งผลให้รอยซึมที่ปรากฏบนกระดาษลดลง และเพื่อเพิ่มความคมชัดจึงทำการลดขนาดของอนุภาคของเขม่าดำโดยการเพิ่มระยะเวลาในการบด

จากสาเหตุที่กล่าวมาได้มีการปรับปรุงสูตรหมึกพิมพ์เป็นสูตร A13W1L1T1CB6(2.5) โดยมีการบดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (แบบที่ 1) เป็นเวลา 6 วัน ผลที่ได้ยังคงพบปัญหาเช่นเดียวกับสูตร A13W1L1T1CB4(1.7) จึงลดขนาดของอนุภาคโดยการเพิ่มระยะเวลาในการบดด้วยเครื่องบอลมิลล์ (แบบที่ 1) เป็นเวลา 8 วัน และเพิ่มปริมาณของเขม่าดำได้เป็นสูตรหมึกพิมพ์ แสดงดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของเขม่าดำที่แตกต่างกัน

ชื่อสูตร	ปริมาณของเขม่าดำ (กรัม)
A13W1L1T1CB8(3.3)	3.3
A13W1L1T1CB8(4.9)	4.9
A13W1L1T1CB8(6.5)	6.5

ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรหมึกพิมพ์ที่มีปริมาณของเขม่าดำแตกต่างกัน โดยพบว่าสูตร A13W1L1T1CB8(3.3), A13W1L1T1CB8(4.9) และสูตร A13W1L1T1CB8(6.5) ขณะทำการพิมพ์ด้วยเทคนิคเอทซิง เนื้อหมึกมีการเกาะติดแม่พิมพ์ที่ดีขึ้น มีปัญหารอยเปื้อนสีเทาบนชิ้นงานลดน้อยลง และมีการซึมของ ESO ลดลงเมื่อปริมาณของเขม่าดำเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะสูตร A13W1L1T1CB8(6.5) ที่ไม่เกิดรอยซึมของ ESO แต่ยังคงมีการหลุดของเขม่าดำ ดังนั้นในการปรับสูตรหมึกพิมพ์ต่อไปจึงเพิ่มปริมาณยาง ENR-25 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดของผงเขม่าดำ และยังเป็น การช่วยแก้ปัญหารอยเปื้อนสีเทาบนชิ้นงานให้ลดน้อยลง นอกจากนี้ได้นำหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตรทำการทดสอบค่าความสว่าง (L*) แสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความสว่าง (L*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้

สูตรหมึกพิมพ์	ค่าความสว่าง (L*) เฉลี่ย
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	27.92±0.58
A13W1L1T1CB8(3.3)	24.52±0.52
A13W1L1T1CB8(4.9)	20.22±0.24
A13W1L1T1CB8(6.5)	21.43±0.13

จากตารางที่ 4.7 พบว่าทั้ง 3 สูตร มีค่าความสว่างที่ต่ำกว่าสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ โดยเมื่อพิจารณาจากค่าความสว่าง ทั้ง 3 สูตรสามารถนำไปใช้งานได้ แต่เนื่องด้วยเหตุผลที่สูตร A13W1L1T1CB8(6.5) ที่มีการใช้เขม่าดำ 6.5 กรัม สามารถลดปัญหาการซึมของ ESO ได้ดีกว่าสูตร A13W1L1T1CB8(3.3) และสูตร A13W1L1T1CB8(4.9) จึงเป็นเหตุผลที่เลือกใช้เขม่าดำปริมาณ 6.5 กรัม ในการผสมสูตรหมึกพิมพ์

4.2.6 การเพิ่มปริมาณแว็กซ์ในสูตรหมึกพิมพ์

สูตรที่ใช้ในการศึกษา คือ สูตร A15W1L1T1CB8(6.5) โดยเป็นสูตรที่มีการเพิ่มปริมาณเนื้อยาง โดยปรับความเข้มข้นของยางอีพ็อกซีไดซ์จาก 13 pph เป็น 15 pph ของน้ำมันถั่วเหลือง-อีพ็อกซีไดซ์ พบว่ายังมีการหลุดของเขม่าดำ และความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ได้ยังไม่เป็นที่พึงพอใจต่อผู้ใช้งานจึงทำการเพิ่มแว็กซ์ เพื่อเพิ่มความหนืด แสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความหนืดของหมึกพิมพ์

สูตรหมึกพิมพ์	ความหนืด (เซนติพอยส์)
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	>40,000
A15W1L1T1CB8(6.5)	>40,000
A15W2L1T1CB8(6.5)	>40,000
A15W3L1T1CB8(6.5)	>40,000

หมายเหตุ

>40,000 หมายถึง ความหนืดเกิน 40,000 เซนติพอยส์

จากตารางที่ 4.8 พบว่าตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ทั้งหมดมีค่าความหนืดเกิน 40,000 เซนติพอยส์ เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แต่เมื่อนำมาใช้งานจริง พบว่าความหนืดที่สัมผัสได้มีความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ยกเว้นสูตร A15W3L1T1CB8(6.5) ซึ่งมีความหนืดใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์จึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้สูตร A15W3L1T1CB8(6.5) ในการผลิตหมึกพิมพ์ต่อไป อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาการหลุดของเขม่าดำ

เมื่อนำสูตรหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่เตรียมได้ทำการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทร่องลึกลักษณะรูพรุนที่มีความละเอียดโดยใช้แม่พิมพ์ Aquatint (แบบที่ 2) ตามหัวข้อ 3.8.2 แสดงภาพการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์ ดังรูปที่ 4.13 หลังจากหมึกพิมพ์แห้งแล้วทำการวัดสีของชิ้นงานด้วยเครื่องวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D-1925 เพื่อเปรียบเทียบค่าของสีระหว่างสีของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมขึ้น ได้ค่าความสว่าง (L*) แสดงดังตารางที่ 4.9



(ก)

(ข)

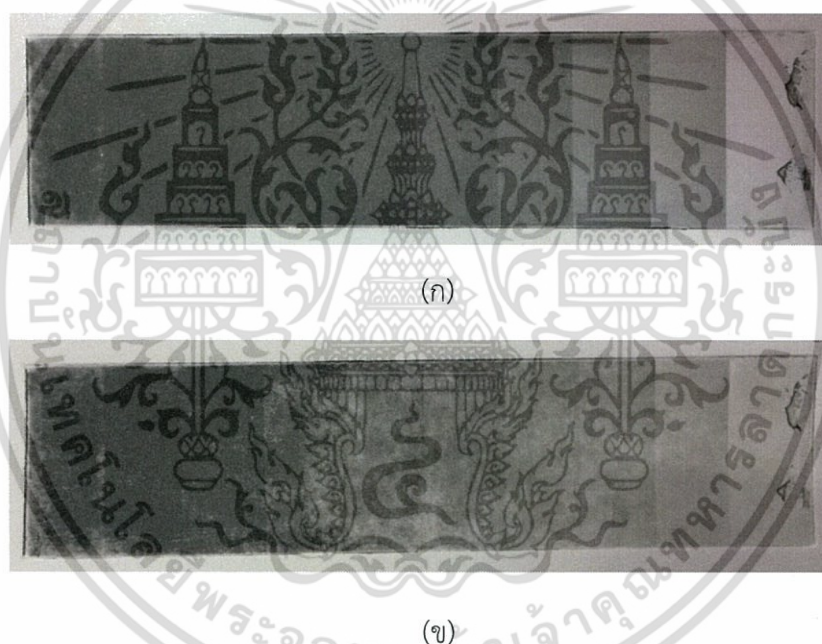
รูปที่ 4.13 การทดสอบความสามารถการถ่ายโอนความละเอียดของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), หมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CB8(6.5) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้

สูตรหมึกพิมพ์	ค่าความสว่าง (L^*) เฉลี่ย		
	โทนสีเข้ม	โทนสีปานกลาง	โทนสีอ่อน
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	28.92±0.47	29.8±0.21	32.95±0.38
A15W3L1T1CB8(6.5)	30.95±1.12	33.44±0.26	36.58±0.35

จากตารางที่ 4.9 พบว่าหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CB8(6.5) มีค่าความสว่างของสีที่มากกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์เพียงเล็กน้อย แต่จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าความเข้มของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้บนกระดาษ Farbrino etching มีค่าด้อยกว่าสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ดังนั้นจึงทำการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทร่องลึก ลักษณะรูพรุนที่มีความละเอียดโดยใช้แม่พิมพ์ Aquatint (แบบที่ 3) ที่มีความละเอียดมากกว่าแม่พิมพ์ Aquatint (แบบที่ 2) แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความคมชัดของลวดลายภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 3) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก) เทียบกับสูตร A15W3L1T1CB8(6.5) (ข)

จากรูปที่ 4.14 พบว่าภาพที่ได้มีความสามารถในการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ และความคมชัดของลวดลายต่ำกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ คาดว่าเนื่องจากขนาดอนุภาคของเขม่าดำที่มีขนาดใหญ่กว่าร่องความละเอียดของแม่พิมพ์ ไม่สามารถลงไปร่องของแม่พิมพ์โลหะที่มีความละเอียดสูง และความลึกของร่องที่แตกต่างกันได้ สูตรหมึกพิมพ์ดังกล่าวจึงยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานที่ต้องการความละเอียดสูง ดังนั้นการพัฒนาสูตรหมึกพิมพ์ต่อไปจึงเพิ่มประสิทธิภาพในการบดลดขนาดของเขม่าดำด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (แบบที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำ

ผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำก่อนทำการบดลดขนาด และที่ผ่านการบดลดขนาดตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.5 จากการวิเคราะห์ด้วยกล้อง Digital Light Microscope รุ่น Dino-Lite Digital กำลังขยาย 500x แสดงขนาดอนุภาคของเขม่าดำ ดังตารางที่ 4.10 และตัวอย่างภาพถ่ายอนุภาคของผงเขม่าดำ CD8 แสดงดังรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.10 ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้อง Digital Light Microscope

อนุภาคของผงเขม่าดำ	ระยะเวลาในการบด (วัน)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
CO	-	10.96±4.19
CM	-	7.84±3.29
CB2	2	6.58±1.85
CB4	4	6.45±1.90
CB6	6	4.36±1.25
CB8	8	3.20±0.77
CD5	5	2.94±1.45
CD8	8	2.26±0.66

จากตารางที่ 4.10 พบว่าการลดขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ปัจจัยแรกคือ วิธีการบดลดขนาด สังเกตเห็นได้ว่าขนาดอนุภาคของเขม่าดำก่อนทำการบดลดขนาด (CO) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10.96±4.19 ไมโครเมตร เมื่อนำไปบดด้วยโกร่งบดสาร (CM) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 7.84±3.29 ไมโครเมตร และเมื่อบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball mill) (แบบที่ 1) เป็นระยะเวลา 2 วัน (CB2) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6.58±1.85 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง ปัจจัยสองคือ เวลาในการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball mill) เนื่องจากลูกบดเคลื่อนที่ และเสียดสีกันมากขึ้น ทำให้อนุภาคที่อยู่ระหว่างลูกบดถูกระแทกเสียดสี จนแตกออกจากกัน เกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำมีขนาดเล็กลงเมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นความแตกต่างของขนาดอนุภาคอย่างชัดเจน เมื่อมีการบดลดขนาด (แบบที่ 1) เป็นระยะเวลา 2, 4, 6 และ 8 วัน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6.58±1.85, 6.45±1.90, 4.36±1.25 และ 3.20±0.77 ไมโครเมตรตามลำดับ และปัจจัยที่สามคือ ปริมาณของลูกบด และขนาดของลูกบดที่ใช้ในหม้อบด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบดสูงสุดควรเติมลูกบดลงในหม้อบด (Ball mill) ประมาณ 50-55 % ของปริมาตรภายในทั้งหมดของหม้อบด ซึ่งช่วยให้ใช้เวลาในการบดน้อย และมีค่าการกระจายตัวของอนุภาค (Particle size distribution) ดีที่สุด และการเติมลูกบดหลาย ๆ ขนาดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบดให้ดีขึ้นด้วย โดยลูกบดขนาดใหญ่ทำหน้าที่บดย่อยวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง และลูกบดขนาดเล็กเป็นตัวทำให้วัตถุดิบเล็กลงได้ตามต้องการ แสดงให้เห็นได้จากตารางที่ 4.10 ระหว่างค่าขนาดอนุภาคของ CB8 กับ CD5 โดยที่ CD5 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.20±0.77 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

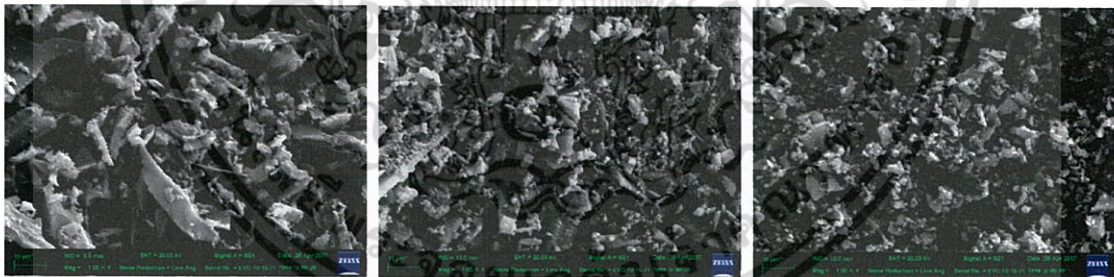
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กกว่า CB8 เนื่องจากมีปริมาณของลูกบดที่ใช้ในหม้อบด และมีขนาดลูกบดที่หลากหลายมากกว่า และกรณีที่มีปริมาณของลูกบด และขนาดของลูกบดที่ใช้ในหม้อบดเท่ากัน พบว่า CD8 มีขนาดอนุภาค 2.26 ± 0.66 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดที่เล็กกว่า CD5 ซึ่งเป็นผลเนื่องจากระยะเวลาในการบดที่มากกว่า ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างภาพถ่ายอนุภาคของผงเขม่าดำ CD8

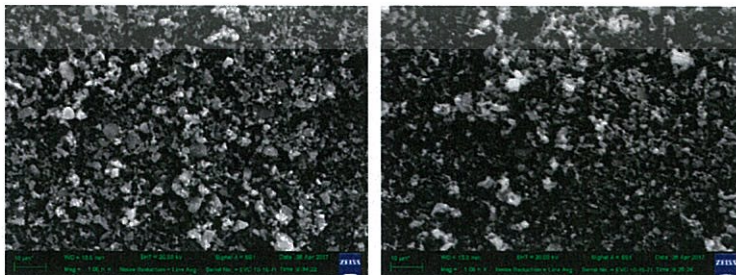
ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของผงเขม่าดำ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น EVO[®] MA10 กำลังขยาย 1000x เพื่อวิเคราะห์ผลขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำ ก่อนทำการบดลดขนาด และที่ผ่านการบดลดขนาดตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ ตัวอย่างผงเขม่าดำ CM, CB8, CD5 และ CD8 แสดงดังรูปที่ 4.16



(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

(จ)

รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของตัวอย่างผงเขม่าดำ ดังนี้ ผงเขม่าดำ CO (ก), ผงเขม่าดำ CM (ข),

ผงเขม่าดำ CB8 (ค), ผงเขม่าดำ CD5 (ง) และผงเขม่าดำ CD8 (จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองสิทธิของหน่วยงานนั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

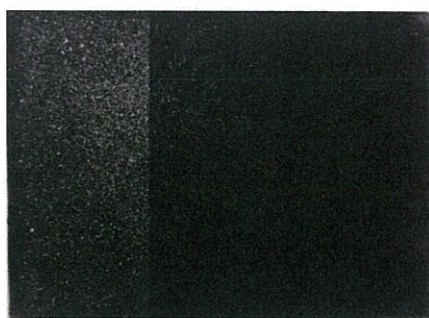
จากรูปที่ 4.16 สังเกตเห็นได้ว่าผงเขม่าที่ก่อนทำการลดขนาด (CO) มีรูปร่างลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ และเมื่อทำการบดลดขนาดด้วยวิธีการบดที่แตกต่างกัน รวมถึงระยะเวลาในการบดที่เพิ่มขึ้น พบว่ารูปร่างลักษณะเป็นแผ่นมีขนาดที่เล็กลง ซึ่งแสดงค่าขนาดอนุภาคของเขม่าดำเฉลี่ยดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM)

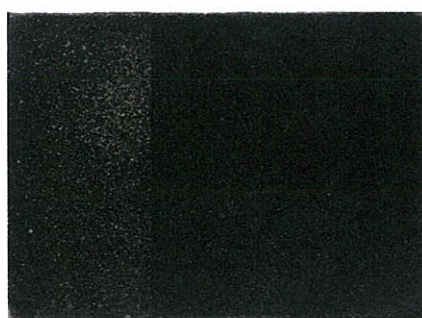
อนุภาคของผงเขม่าดำ	ระยะเวลาในการบด (วัน)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
CO	-	17.96±8.28
CM	-	9.33±4.19
CB8	8	4.75±1.71
CD5	5	2.96±0.79
CD8	8	2.50±0.72

จากตารางที่ 4.11 พบว่าการลดลงของขนาดอนุภาคของเขม่าดำ ขึ้นอยู่กับวิธีการบด และระยะเวลาที่ใช้ในการบดผงเขม่าดำ โดยที่ผงเขม่าดำก่อนทำการลดขนาด (CO) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 17.96±8.28 ไมโครเมตร, บดด้วยโกร่งบดสาร (CM) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9.33±4.19 ไมโครเมตร, บดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball mill) (แบบที่ 1) เป็นระยะเวลา 8 วัน (CB8) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.75±1.71 ไมโครเมตร และเมื่อทำการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball mill) (แบบที่ 2) เป็นระยะเวลา 5 (CD5) และ 8 วัน (CD8) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.96±0.79 และ 2.50±0.72 ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดอนุภาคของเขม่าดำที่ได้จากการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับขนาดอนุภาคของเขม่าดำที่ได้จากการวัดด้วยกล้อง Digital Light Microscope

เพื่อพัฒนาสูตรหมึกพิมพ์ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงในร่องที่มีความละเอียดของแม่พิมพ์ ซึ่งผงเขม่าดำ CD5 และ CD8 มีขนาดเล็กกว่าจึงถูกใช้แทนที่ CB8 ที่ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรหมึกพิมพ์ก่อนหน้านี้ ได้แก่ สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสูตรหมึกพิมพ์ไปทำการพิมพ์ด้วยเทคนิคเอทซิงแบบ Aquatint (แบบที่ 2) ดังรูปที่ 4.17 แล้วทำการวัดสีของชิ้นงานด้วยเครื่องวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D-1925 เพื่อเปรียบเทียบค่าของสีระหว่างสีของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมขึ้น ได้ค่าความสว่าง (L*) แสดงดังตารางที่ 4.12



(ก)



(ข)

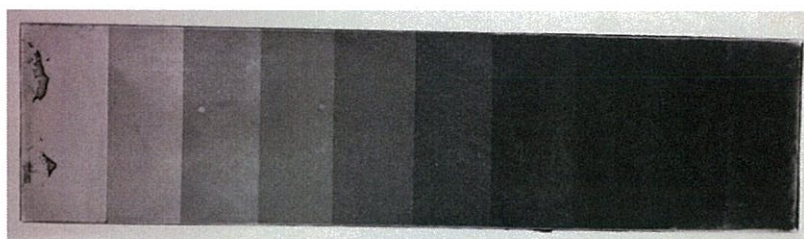
รูปที่ 4.17 การทดสอบความสามารถในการถ่ายโอนความละเอียดของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) (ก) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) (ข)

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้

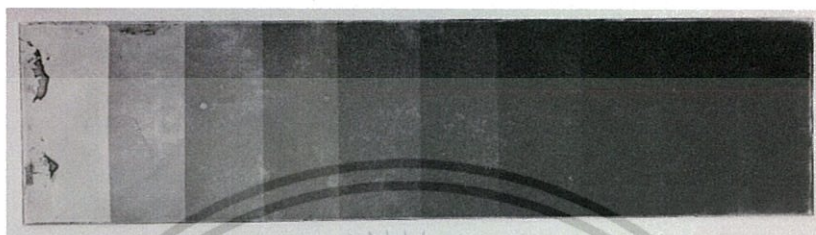
สูตรหมึกพิมพ์	ค่าความสว่าง (L^*) เฉลี่ย		
	โทนสีเข้ม	โทนสีปานกลาง	โทนสีอ่อน
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	28.92±0.47	29.8±0.21	32.95±0.38
A15W3L1T1CD5(6.5)	26.90±0.62	27.86±0.47	34.50±2.00
A15W3L1T1CD8(6.5)	28.58±0.30	30.33±0.32	33.25±0.49

จากตารางที่ 4.12 พบว่าหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ คือ สูตร A15W3L1T1D5(6.5) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) มีความสามารถในการไล่ระดับสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเทียบเท่ากับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ เนื่องจากขนาดอนุภาคของเขม่าดำที่มีขนาดเล็กลง ทำให้พื้นที่ผิวของอนุภาคเพิ่มขึ้น การดูดกลืนแสงของสีเพิ่มขึ้น สารสีมีการดูดกลืนแสงไว้มาก ซึ่งทำให้การมองเห็นวัสดุสีที่เข้มขึ้น รวมถึงเมื่อทำการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ประเภทร่องลึกลักษณะรูพรุนที่มีความละเอียดโดยใช้แม่พิมพ์ Aquatint (แบบที่ 3) แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่าภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 3) ของสูตร A15W3L1T1CD5(6.5) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) มีความคมชัดของลวดลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งมีความคมชัดเทียบเท่ากับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ เนื่องจากขนาดอนุภาคเขม่าดำที่มีขนาดเล็ก เมื่อทำการอัดหมึกพิมพ์ลงแผ่นแม่พิมพ์โลหะหมึกจึงสามารถลงไปร่องของแม่พิมพ์ Aquatint (แบบที่ 3) ที่มีความละเอียดสูง แล้วถ่ายโอนภาพมายังกระดาษ Farbrino etching เกิดเป็นภาพที่มีระดับความเข้มสีที่แตกต่างกันสามารถนำไปใช้งานได้จริง

สำหรับการทดสอบความคมชัดของลวดลายภาพพิมพ์แบบ Hard ground โดยศึกษาหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) เทียบกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ถูกประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดดิจิทัล แสดงเปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_s) กับลวดลายบนกระดาษ (D_p) ดังตารางที่ 4.13 และแสดงดังรูปที่ 4.19-4.21



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.18 ความคมชัดของลวดลายภาพพิมพ์แบบ Aquatint (แบบที่ 3) ของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) (ก) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) (ข)

ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_s) กับลวดลายบนกระดาษ (D_p)

สูตรหมึกพิมพ์	ค่าเฉลี่ย % D_{sp} ของแต่ละตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	-4.19	-5.70	-0.22	-2.39	0.00
A15W3L1T1CD5(6.5)	-6.13	-5.96	-1.97	-2.81	-0.96
A15W3L1T1CD8(6.5)	-4.19	-6.22	-0.22	-2.56	-0.77

หมายเหตุ

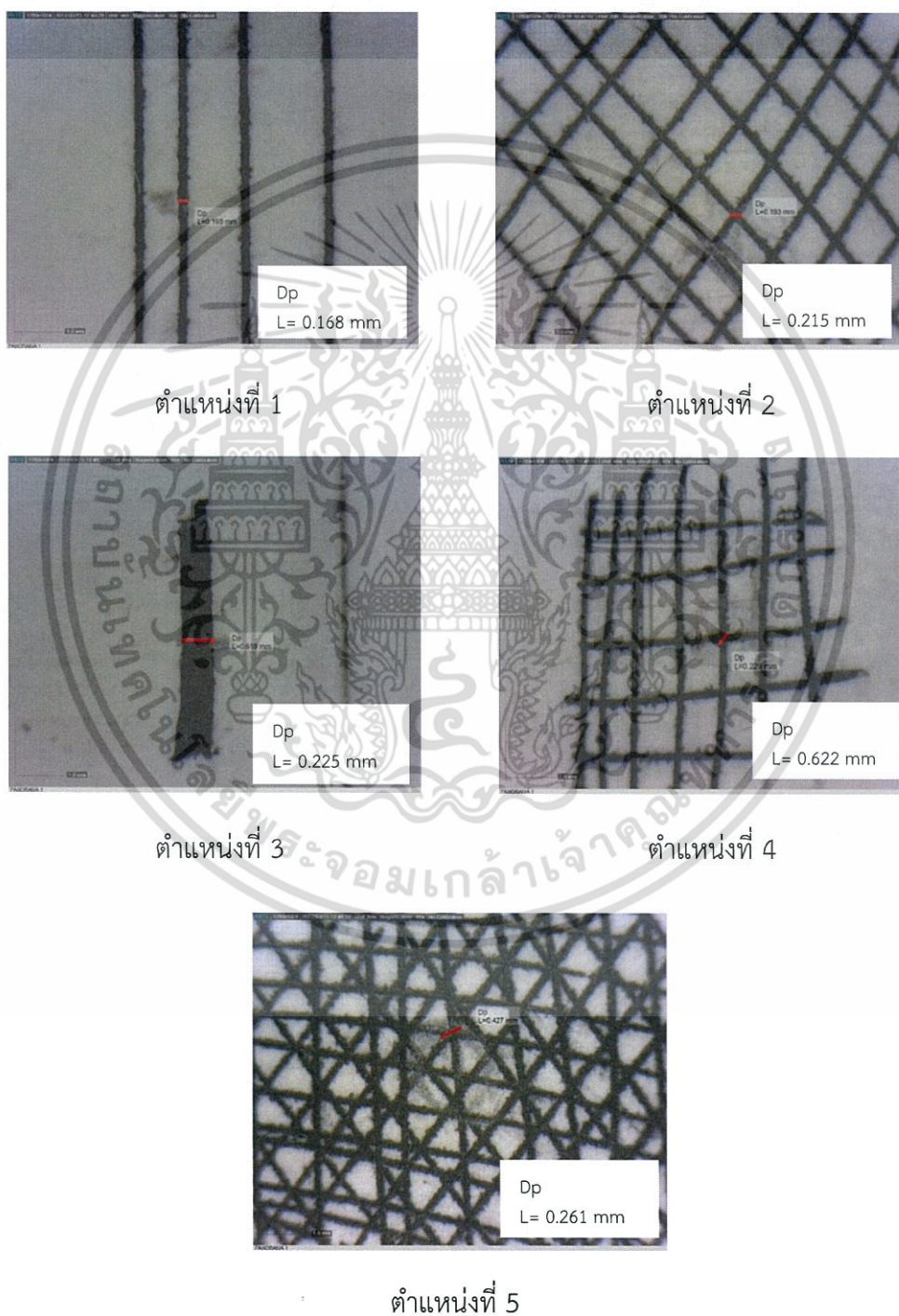
ความคมชัด หมายถึง ความสามารถในการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ ให้มีขนาดเท่ากับแม่พิมพ์โลหะ และเมื่อนำหมึกพิมพ์นั้นไปถ่ายโอนลงบนกระดาษ ลวดลายที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกับแม่พิมพ์โลหะ โดยส่วนที่ขาด หรือเกินแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ที่น้อยหมายถึง ความคมชัดที่ดีซึ่งปรากฏให้เห็นจากขอบของลวดลายที่พิมพ์

ค่าติดลบ หมายถึง ภาพพิมพ์ที่ได้มีระยะของลวดลายบนกระดาษที่มากกว่าระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะ

จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายบนกระดาษกับลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะ (ΔD_{sp}) ของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของลวดลายทั้ง 5 ตำแหน่ง มีค่าอยู่ในช่วง -6.13, -5.96, -1.97, -2.81 และ -0.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) มีค่า -4.19, -6.22, -0.22, -2.56 และ -0.77 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

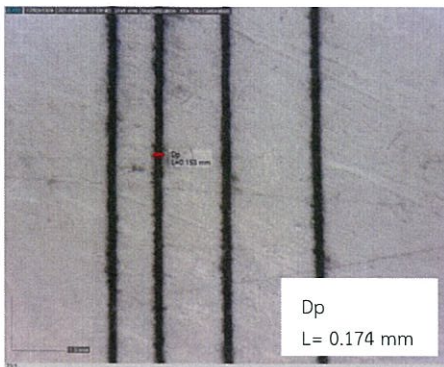
เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความคมชัดของลวดลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งมีความคมชัดเทียบเท่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ เช่นเดียวกับผลการพิมพ์ภาพแบบ Aquatint (แบบที่ 3)

ดังนั้นหมึกพิมพ์ทั้ง 2 สูตร สามารถนำไปใช้งานภาพพิมพ์เอทซึ่งได้ โดยเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความละเอียดของลวดลายแม่พิมพ์ที่ต้องการ รวมถึงค่าความหนืดที่วัดมีค่ามากกว่า 40,000 เซนติพอยส์ เป็นที่พอใจของผู้ใช้งาน และสำหรับการยึดติดพบว่ามีการหลุดเพียงเล็กน้อย แต่สามารถนำไปใช้งานในทางศิลปะที่ไม่มีความจำเป็นในด้านการทนทานต่อการขัดถู หรือการยึดติดที่สูงมากได้

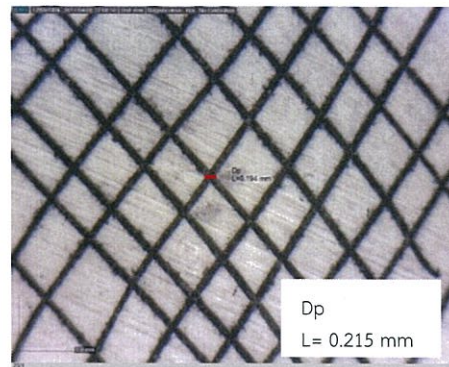


รูปที่ 4.19 ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (D_p) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

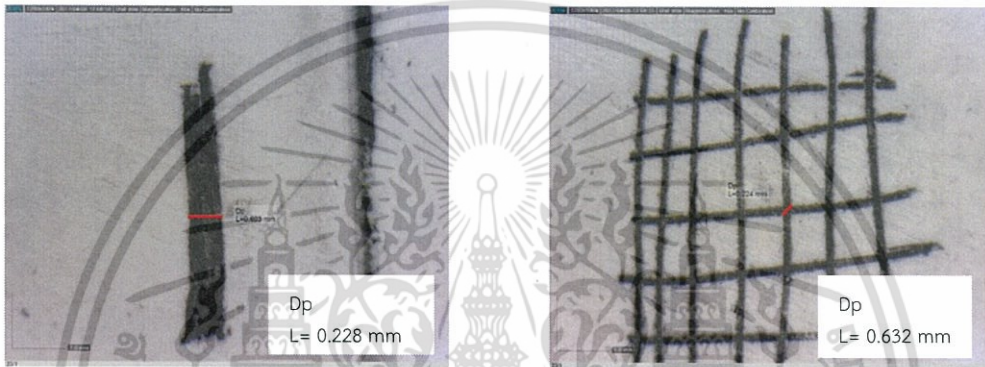
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นไปขอปรึกษาเรื่องการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตำแหน่งที่ 1

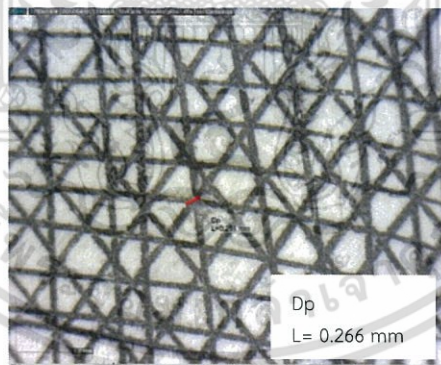


ตำแหน่งที่ 2



ตำแหน่งที่ 3

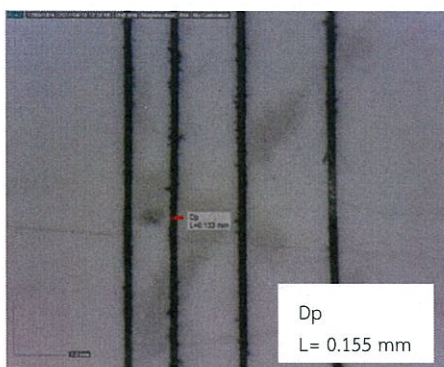
ตำแหน่งที่ 4



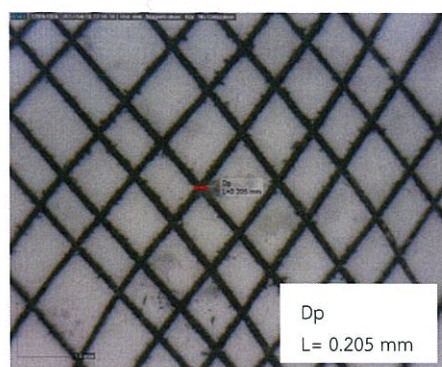
ตำแหน่งที่ 5

รูปที่ 4.20 ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (Dp) ของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD5(6.5)

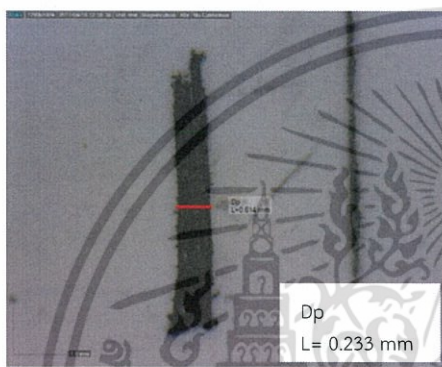
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



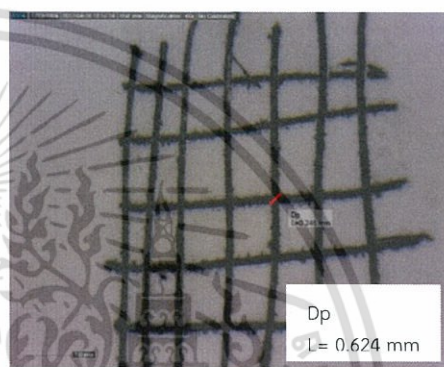
ตำแหน่งที่ 1



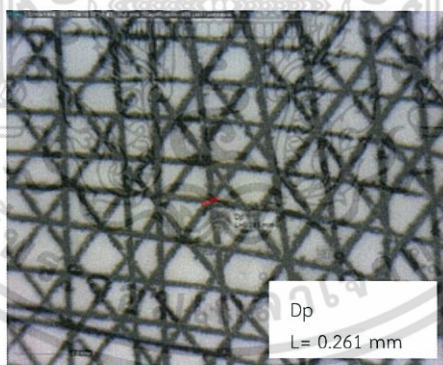
ตำแหน่งที่ 2



ตำแหน่งที่ 3



ตำแหน่งที่ 4



ตำแหน่งที่ 5

รูปที่ 4.21 ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ (Dp) ของหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD8(6.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ผลของชนิดของน้ำมันชักแห้งต่อการแห้งตัวของหมึกพิมพ์

จากผลการทดลองการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ ได้ทำการนำตัวอย่างของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มาทดสอบการแห้งตัว โดยดูลักษณะการแห้งที่ผิวของหมึกพิมพ์ที่ปาดลงบนกระดาษ ตามขั้นตอนดังหัวข้อที่ 3.9.2 ด้วยกันทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ A15W3L1T1CD8(6.5) (น้ำมันลินสีดผสมน้ำมันทั้ง), A15W3L2CD8(6.5) (น้ำมันลินสีด), และ A15W3T2CD8(6.5) (น้ำมันทั้ง) ซึ่งทุกสูตรปล่อยให้หมึกพิมพ์แห้งตัวที่อุณหภูมิห้อง ผลที่ได้คือ สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) และสูตร A15W3L2CD8(6.5) หมึกพิมพ์แห้งที่ผิวสนิทที่ระยะเวลา 23 วัน ในขณะที่สูตร A15W3T2CD8(6.5) หมึกพิมพ์แห้งที่ผิวสนิทที่ระยะเวลา 19 วัน ซึ่งพบว่าสูตรที่มีเฉพาะน้ำมันทั้งผสมอยู่การแห้งตัวของหมึกพิมพ์สามารถแห้งได้เร็วกว่าอีกสองสูตรที่มีน้ำมันลินสีด และน้ำมันลินสีดผสมน้ำมันทั้งเป็นส่วนผสม เพราะโครงสร้างโดยทั่วไปของน้ำมันทั้งมีโครงสร้างของกรดไขมันที่มีพันธะคู่กลับเดี่ยว เมื่อได้รับออกซิเจนไปกระตุ้นทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะคู่แล้วเกิดอนุมูลอิสระขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นฟิล์มแข็งได้เร็ว ซึ่งต่างจากน้ำมันลินสีดที่มีโครงสร้างของกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่กลับเดี่ยวจึงทำให้ใช้เวลาในการแห้งตัวนานกว่าตามที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 4.2.2 แต่เมื่อนำตัวอย่างสูตรหมึกทั้งสามสูตรนี้ไปเทียบกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ที่มีการแห้งผิวที่ 2 วัน พบว่าตัวอย่างหมึกที่เตรียมได้ มีระยะเวลาในการแห้งตัวนานกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แต่เมื่อนำไปใช้งานจริงโดยการถ่ายโอนภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคเอทซิง ภาพพิมพ์ที่ได้มีความหนาของเนื้อหมึกที่ถ่ายโอนลงบนกระดาษบางกว่าหมึกพิมพ์ที่ทำการปาดลงบนกระดาษมาก ทำให้การแห้งผิวของทั้ง 3 สูตร เร็วขึ้น และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ภายใน 2 วัน แต่ยังคงมีเวลาในการแห้งผิวที่นานกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ที่มีการแห้งผิวประมาณ 0.5 วัน

4.3 ความสามารถในการชะล้างของหมึกพิมพ์

หลังจากการผสมสูตรหมึกพิมพ์นำสูตรหมึกพิมพ์ที่ได้ทำการทดสอบดังหัวข้อ 3.9.7 โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ระหว่างสูตรหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ผลแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของความสามารถในการชะล้าง

หมึกพิมพ์ทดสอบ	ความสามารถในการชะล้าง
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	×
A15W3L1T1CD8(6.5)	✓

หมายเหตุ

เครื่องหมาย “✓” หมายถึง สูตรหมึกพิมพ์ที่สามารถทำความสะอาดอุปกรณ์หลังการใช้งานได้ด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ ดังรูปที่ 4.22

เครื่องหมาย “×” หมายถึง สูตรหมึกพิมพ์ที่ไม่สามารถทำความสะอาดอุปกรณ์หลังการใช้งานได้ด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่สามารถล้างด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างสูตรหมึกพิมพ์ที่ไม่สามารถล้างด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้

จากตารางที่ 4.14 พบว่าหมึกพิมพ์สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) สามารถทำความสะอาดได้ด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ ในขณะที่หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ไม่สามารถทำความสะอาดด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้ เนื่องจากน้ำยาซักล้างสูตรน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบ โดยสารลดแรงตึงผิวมีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ชอบน้ำมัน ซึ่งส่วนที่ชอบน้ำทำการจับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมันทำการจับพวกน้ำมันที่อยู่ในหมึกพิมพ์ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ และถูกล้อมรอบจนเกิดเป็นไมเซลล์ เมื่อล้างออกด้วยน้ำทำให้หมึกพิมพ์นั้นหลุดออกไปแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

4.4 การทดสอบอายุการใช้งานของหมึกพิมพ์

นำสูตรหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่เตรียมได้ คือ A15W3L2CD8(6.5), สูตร A15W3T2CD8(6.5) และสูตร A15W3L1T1CD8(6.5) มาทดสอบอายุการใช้งานเทียบกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์โดยเก็บไว้ในกล่องปิดสนิท ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องแล้วสังเกตผลการเกิดขึ้นฟิล์มบนผิวหมึกเป็นระยะเวลา 3 วัน, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบอายุการใช้งานของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

สูตรหมึกพิมพ์	อายุการเก็บหมึกพิมพ์				
	3 วัน	1 สัปดาห์	2 สัปดาห์	3 สัปดาห์	4 สัปดาห์
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	×	×	×	×	×
A15W3T2CD8(6.5)	✓	×	×	×	×
A15W3L1T1CD8(6.5)	✓	✓	×	×	×
A15W3L2CD8(6.5)	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ

เครื่องหมาย “✓” หมายถึง สูตรหมึกพิมพ์ที่ไม่เกิดชั้นฟิล์มแข็งแห้งบนชั้นผิวหมึก สามารถใช้งานหมึกพิมพ์ได้

เครื่องหมาย “×” หมายถึง สูตรหมึกพิมพ์ที่เกิดชั้นฟิล์มแข็งแห้งบนชั้นผิวหมึก ต้องทำการเปิดชั้นฟิล์มด้านบนจึงสามารถใช้งานหมึกพิมพ์ได้

จากตารางที่ 4.15 พบว่าเมื่อผ่านไป 3 วัน หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์เกิดชั้นฟิล์มแห้งบนผิวหมึก ต้องทำการเปิดชั้นแผ่นฟิล์มด้านบนจึงสามารถใช้งานหมึกพิมพ์ได้ ในขณะที่หมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร ผิวหน้าแห้งขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ไม่เกิดชั้นฟิล์ม สามารถนำหมึกพิมพ์ไปใช้งานได้ จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ พบว่าสูตร A15W3T2CD8(6.5) เกิดชั้นฟิล์มแห้งบนผิวหมึก และเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) เกิดชั้นฟิล์มแห้งบนผิวหมึก เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ในขณะที่หมึกพิมพ์สูตร A15W3L2CD8(6.5) ผิวหน้าแห้งขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่เกิดชั้นฟิล์มเมื่อเก็บหมึกพิมพ์จนครบ 4 สัปดาห์

จากผลการทดสอบข้างต้น สันนิษฐานว่าสูตรหมึกพิมพ์ทุกสูตรที่ทำการทดสอบเกิดการแห้งบนผิวหมึกพิมพ์เกิดเป็นชั้นฟิล์มได้ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยหมึกพิมพ์สัมผัสกับอากาศ และสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันในน้ำมัน ทำให้หมึกพิมพ์เกิดการเชื่อมโยงบางส่วนระหว่างที่ทำการเก็บรักษาหมึกพิมพ์ไว้ก่อนนำมาใช้งาน โดยสูตรหมึกพิมพ์ที่มีการผสมน้ำมันทั้งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่าสูตรที่ผสมน้ำมันลินสีดเนื่องจากเหตุผลตามที่กล่าวไปในหัวข้อ 4.2.2 ทำให้เกิดการแห้งบริเวณผิวหน้าลงไปเรื่อย ๆ ได้เร็ว ส่งผลต่อเสถียรภาพในการใช้งาน แต่สูตรหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร มีระยะเวลาการเก็บรักษา และการใช้งานได้นานกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ เพราะฉะนั้นเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานควรเก็บรักษาหมึกพิมพ์ในภาชนะที่มีการปิดอย่างแน่นหนา อาจมีการใช้แว็กซ์ หรือพลาสติกปิดบริเวณผิวหน้าของหมึกเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างอากาศกับเนื้อหมึกพิมพ์

4.5 ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง

นำสูตรหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร คือ สูตร A15W3L1T1CD5(6.5), สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) และสูตร A15W3T2CD8(6.5) ไปทำการถ่ายโอนภาพพิมพ์ลงบนกระดาษ Farbrino etching ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์ที่มีทั้งแบบ Hard ground และแบบ Aquatint เทียบกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แสดงผลดังรูปที่ 4.24

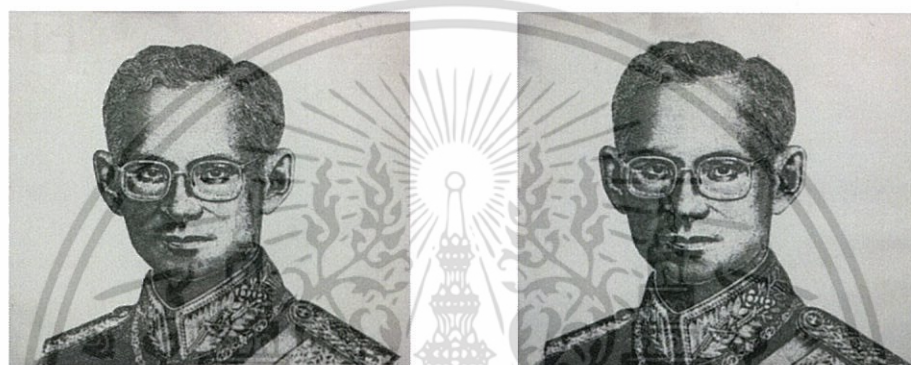
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 4.24 ภาพลวดลายของหมวกพิมพ์เชิงพาณิชย์ (ก), สูตร A15W3L1T1CD5(6.5) (ข), สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) (ค) และสูตร A15W3T2CD8(6.5) (ง)

จากรูปที่ 4.24 พบว่าลวดลายภาพพิมพ์ของหมวกพิมพ์ที่เตรียมได้ทั้ง 3 สูตร มีความคมชัด เทียบเท่ากับหมวกพิมพ์เชิงพาณิชย์ สามารถนำไปใช้งานได้จริง ได้ภาพที่มีคุณภาพสูงจึงนำสูตร หมวกพิมพ์ทั้ง 3 สูตร เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ กับหมวกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แสดงในหัวข้อที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การเปรียบเทียบสมบัติหมึกพิมพ์ที่เตรียมขึ้น กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้สูตรต่าง ๆ กับสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

สมบัติ		สูตร	หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	A15W3L1T1CD5(6.5)	A15W3L1T1CD8(6.5)	A15W3T2CD8(6.5)
ลักษณะทางกายภาพ			สีดำ เหนียว ความหนืดสูง	สีดำ เหนียว ความหนืดสูง	สีดำ เหนียว ความหนืดสูง	สีดำ เหนียว ความหนืดสูง
ความสามารถในการถ่ายโอนหมึก			ดี	ดี	ดี	ดี
ความคมชัดของลวดลายเทียบกับแม่พิมพ์			ดี	ดี	ดี	ดี
ค่าความสว่าง (L*) แบบพื้นราบ			27.92±0.58	22.31±0.10	23.57±0.30	23.25±0.33
ค่าความสว่าง (L*) แบบ Aquatint (แบบที่ 2)	โทนสีเข้ม		28.92±0.47	26.90±0.62	28.58±0.30	32.29±1.32
	โทนสีปานกลาง		29.80±0.21	27.86±0.47	30.33±0.32	35.38±1.20
	โทนสีอ่อน		32.95±0.38	34.50±2.00	33.25±0.49	36.68±0.22
ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)			>40,000	>40,000	>40,000	>40,000
ระยะเวลาการแห้งผิวที่สภาวะใช้งานจริง (วัน)			0.5	2	2	2
การเกิดรอยซึมของน้ำมันบนกระดาษ			ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด
การยึดติดของหมึกพิมพ์			3	1	1	2

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้สูตรต่าง ๆ กับสูตรหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ [ต่อ]

สมบัติ \ สูตร	หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	A15W3L1T1CD5(6.5)	A15W3L1T1CD8(6.5)	A15W3T2CD8(6.5)
กลิ่นของหมึกพิมพ์	มาก	น้อย	น้อย	น้อย
ความสามารถในการชะล้างด้วยน้ำยาซักล้าง สูตรน้ำ	ไม่ได้	ได้	ได้	ได้
อายุการใช้งาน (วัน)	3	14	14	7

หมายเหตุ

- ระยะเวลาการแห้งผิว หมายถึง ค่าประมาณของระยะเวลาตั้งแต่การถ่ายโอนภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์แบบเอทซิงลงสู่กระดาษจนหมึกเกิดการแห้งผิว
- การยึดติดของหมึกพิมพ์ ระดับ 3 หมายถึง ไม่มีการหลุดของเนื้อหมึกพิมพ์ มีการยึดติดสูง
ระดับ 2 หมายถึง มีการหลุดของเนื้อหมึกพิมพ์เล็กน้อย
ระดับ 1 หมายถึง มีการหลุดของเนื้อหมึกพิมพ์
- อายุการใช้งาน หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่ทำการผสมหมึก ถึง ระยะเวลาที่เนื้อหมึกเกิดฟิล์มบนผิวหน้าอย่างสมบูรณ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันสำหรับงานพิมพ์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์เป็นฐานหมึก ผสมร่วมกับยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ เกรด ENR-25 โดยมีการใช้น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง แร็กซ์ เขม่าดำ และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ ลงในสูตรหมึกพิมพ์ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า

1. การทดสอบความสามารถในการละลายของแร็กซ์ใน ESO พบว่าไวท์ปีส์แร็กซ์เมื่อละลายแล้ว มีลักษณะสีขาวขุ่น ไม่แยกชั้น เมื่อนำไปผสมเป็นหมึกพิมพ์แล้วทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ เนื้อหมึกไม่จับตัวเป็นก้อน มีความเสถียรของเนื้อหมึกสูง สามารถนำไปใช้งานได้

2. การทดสอบความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติใน ESO พบว่า ENR-25 เมื่อละลายใน ESO แล้วไม่เกิดการแยกชั้น ละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี และใช้เวลาในการหลอม 12 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่ายางธรรมชาติเกรด STR 5L ที่ใช้เวลา 18 ชั่วโมง รวมถึง ENR-25 มีสมบัติความชื้น ทำให้มีประโยชน์ในงานประเภทสารยึดติด จึงเลือก ENR-25 ในผสมสูตรหมึกพิมพ์

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของ BPO ในสูตรหมึกพิมพ์ พบว่าสูตรหมึกพิมพ์ที่ผสม และไม่ผสม BPO เมื่อปาดหมึกลงกระดาษ Farbrino etching มีระยะเวลาการแห้งตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก BPO มีอุณหภูมิการแตกตัวไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง จึงไม่นำ BPO มาใช้ในการผสมสูตรหมึกพิมพ์

4. ผลการเลือกชนิดน้ำมันชักแห้ง พบว่าสูตรหมึกพิมพ์ที่ใช้น้ำมันทังมีความสามารถในการยึดติดของหมึกพิมพ์ได้ดีกว่าสูตรที่ใช้น้ำมันทังผสมน้ำมันลินสีด และสูตรที่ใช้น้ำมันลินสีดตามลำดับ แต่ทั้ง 3 สูตรยังคงมีการหลุดของเขม่าดำเล็กน้อย สามารถนำไปใช้ในงานศิลปะที่ไม่มีความจำเป็นในด้านการทนทานต่อการขีดถู หรือยึดติดสูงได้ รวมถึงสูตรหมึกพิมพ์ที่ใช้น้ำมันทังมีการแห้งผิวที่เร็ว แต่มีเสถียรภาพต่ำ มีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าสูตรที่ใช้น้ำมันทังผสมน้ำมันลินสีด และสูตรที่ใช้น้ำมันลินสีด อย่างไรก็ตามสูตรหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีเสถียรภาพและอายุการใช้งานมากกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

5. การเพิ่มปริมาณของยาง ENR-25 และแร็กซ์ พบว่าส่งผลทำให้ปริมาณสัดส่วนของน้ำมันในหมึกพิมพ์ลดลง และหมึกพิมพ์มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ทำให้ขณะอุดเนื้อหมึกลงแม่พิมพ์ เนื้อหมึกเกาะแม่พิมพ์ได้ดี สามารถถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงสู่กระดาษ Farbrino etching ได้อย่างสมบูรณ์ ภาพพิมพ์ที่ได้ไม่มีรอยซึมของน้ำมัน ไม่เกิดรอยดำ และไม่มียอยเปื้อนสีเทาของเขม่าดำ โดยปริมาณของ ENR-25 และแร็กซ์ที่เหมาะสม คือ 15 pph และ 30 pph ตามลำดับ หมึกพิมพ์ที่ได้มีความหนืดสูงกว่า 40,000 เซนติพอยส์ เทียบเท่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

6. จากผลการทดลองขนาดอนุภาคเขม่าดำ พบว่ายิ่งขนาดของเขม่าดำมีขนาดเล็กสามารถเข้าไปในร่องของลวดลายแม่พิมพ์ที่มีความละเอียดสูงได้ คือ CD5 และ CD8 ทำให้ภาพพิมพ์ที่ได้มีเปอร์เซ็นต์ความคมชัดของลวดลายแบบร่องลึก (Hard ground) และแบบลวดลายความละเอียดสูง (Aquatint) ในเกณฑ์ที่ดีเทียบเท่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การหาปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมของเขม่าดำในหมึกพิมพ์ พบว่าที่ปริมาณ 6.5 กรัม ของขนาดเขม่าดำ CD5 และ CD8 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด โดยเมื่อนำไปถ่ายโอนหมึกพิมพ์ลงกระดาษ Farbrino etching และวัดค่าเฉดสี ได้ค่าความเข้มเทียบเท่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

8. จากการทดสอบความสามารถในการชะล้างของหมึกพิมพ์ พบว่าสูตรหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้สามารถชะล้างออกได้ด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำ ซึ่งแตกต่างจากหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ที่ไม่สามารถชะล้างออกได้ด้วยน้ำยาซักล้างสูตรน้ำได้

เมื่อนำผลการทดสอบทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตหมึกพิมพ์เอทชิงฐานน้ำมัน พบว่าสูตร A15W3L1T1CD5(6.5), สูตร A15W3L1T1CD8(6.5) และสูตร A15W3T2CD8(6.5) มีความเหมาะสม นำไปใช้งานที่มีคุณภาพได้จริง และได้รับความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาหมึกพิมพ์ให้มีสมบัติการยึดติดที่ดีขึ้น โดยเปลี่ยนชนิดสารช่วยยึดติด หรือเพิ่มปริมาณน้ำมันชักแห้ง เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงที่ดีขึ้น
2. ควรมีเครื่องมือช่วยในการผสมหมึกพิมพ์ และในขั้นตอนการบดเขม่าดำ เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่เล็ก และใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉานินทร์ ตันตระกูล. 2016. ความเป็นมาของภาพพิมพ์. [Online]. Available: www.teacher.ssru.ac.th. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ธ.ค. 59.
- [2] Beth Grabowski and Bill Fick. 2009. **Printmaking**. Laurence King Publishing Lit. United Kingdom. หน้า 24-35.
- [3] โครงการฉลากเขียว. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ร่างข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับหมึกพิมพ์. สำนักงานเลขาธิการโครงการฉลากเขียว. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. หน้า 1-5.
- [4] CUprint. 2014. **หมึกถั่วเหลือง**. [Online]. Available: <http://www.cuprint.chula.ac.th/soy.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ธ.ค. 59.
- [5] สมาคมการพิมพ์ไทย. 2009. **Vegetable Ink Vs. Soy Ink: Eco-Friendly Printing Ink**. [Online]. Available: http://www.thaiprint.org/thaiprint/index.php?option=com_zoo&view=item&item_id=264&Itemid=54. เมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [6] Ross John, Clave Romano, Tim Ross. 1990. **The Complet Maker**. Adivision of simon & Schuster inc. New York. หน้า 10-17.
- [7] อรุษา สรวารี. 2542. **สารเคลือบผิว**. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์. หน้า 34-53.
- [8] ทองเต็ม เสมรสุต, วันชัย ศิริชนะ, สมชาย ศฤงคารินกุล และเชาว์น ศรสงคราม. **เทคโนโลยีทางการพิมพ์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. หน้า 27-34.
- [9] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2013. **Fatty acid**. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0800/fatty-acid>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [10] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2013. **Saturated fatty acid**. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/314/saturatedfatty-acid>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [11] บุญรอด วงษ์สวาท. 2015. **ชนิดของกรดไขมัน**. [Online]. Available: http://www.Promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/kind_of_fattyacid.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [12] ชิวเคมีสัตวแพทย์. 2014. **กรดไขมัน**. [Online]. Available: <http://cyberlab.lh1.ku.ac.th/elearn/faculty/veterin/vet69/Biochemistry%20Web%20Job/lipid/fatty%20acid.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [13] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2013. **Unsaturated fatty acid**. [Online]. Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word_886/unsaturated-fatty-acid. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [14] Vchakarn. 2551. **ลินสีด (Linseed or Flaxseed)**. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/vcafe/62564>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Wikipedia. 2015. **Linseed oil**. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Linseed_oil. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [16] Blogger. 2556. **กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)**. [Online]. Available: <http://help-to-health.blogspot.com/2013/06/blog-post.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [17] THE PHEROBASE. 2016. **กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)**. [Online]. Available: <http://www.pherobase.com/database/compound/compounds-detail-palmitic%20acid.php>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [18] Wikiwand. 2016. **กรดไมริสติก**. [Online]. Available: <http://www.wikiwand.com.th/กรดไมริสติก>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [19] THE PHEROBASE. 2016. **กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)**. [Online]. Available: <http://www.pherobase.com/database/kovats/kovats-detail-linolenic%2.0acid.php>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [20] พิมพ์ชนก ไส้ไทย, สุนันท์ จรเจนเกียรติ, วัชนิดา ชินผา และวราภรณ์ ต้นรัตนกุล. 2550. **การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลือง**. [Online]. Available: www.kmutt.ac.th/EEM_Conference/Proceedings/index_files/PDF. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [21] Food Network Solution. 2559. **Soybean oil / น้ำมันถั่วเหลือง**. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2851/soybean-oil-น้ำมันถั่วเหลือง>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [22] Wikipedia. 2016. **Stearic acid**. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Stearic_acid. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [23] Rusch G. 1999. **Complete and partial epoxidation of plant oils by lipase-catalyzed Perhydrolysis**. *Industrial Crops and Products*: 9,125-132.
- [24] Vikoflex. 2014. **Epoxidized-Soybean-Oil**. [Online]. Available: www.arkemaepoxides.com/export/sites/epoxides/vikoflex-7170.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [25] Wikipedia. 2016. **Epoxidized soybean Oil**. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxidized_soybean_oil. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [26] Ulrich P. 2550. **Tung oil**. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Drying_oil. เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 ธ.ค. 59.
- [27] Wikipedia. 2016. **Tung oil**. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Tung_oil. เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 ธ.ค. 59.
- [28] บุญรอด วงศ์สวาท. 2016. **Tung oil tree**. [Online]. Available: <http://waynesword.palomar.edu/tungoil1.htm#top>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 ธ.ค. 59.
- [29] อธิพิล แจ้งชัด. 2554. **สารเติมแต่งของยาง และการเสริมแรง**. กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. เอกสารอัดสำเนา.
- [30] Malin Liu. 2013. **Coating Technology of Nuclear Fuel Kernels: A Multiscale View**. [Online]. Available: <http://www.intechopen.com/books/modern-surface-engineering-treatments/coating-technology-of-nuclear-fuel-kernels-a-multiscale-view>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธ.ค. 59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน. 2555. ลักษณะสมบัติคาร์บอนแบล็ค (Carbon black). [Online]. Available: http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=13&p_id=86. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธ.ค. 59.
- [32] ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน. 2555. ลักษณะสมบัติเฉพาะคาร์บอนแบล็ค (Carbon black). [Online]. Available: http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=13&p_id=350. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [33] ไทยคาร์บอนแบล็ค (Thailand). 2557. คุณสมบัติของ Carbon Black ตามลักษณะโครงสร้าง. [Online]. Available: <http://www.nanorubberchem.com/คุณสมบัติ>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [34] บุญรอด วงศ์สวาท. 2551. ไช (Wax). [Online]. Available: http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/wax.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [35] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2553. ไช (Wax). [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1354/wax-ไช>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [36] Wikipedia. 2552. Beeswax. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Beeswax>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [37] Chemipan (Thailand). 2559. Beeswax. [Online]. Available: <http://www.chemipan.com/home/index.php/635-สินค้า/646-สารเคมีทั่วไป/648-สารเคมีทั่วไป/1047/1047-beeswax-ไขผึ้ง-บีแว็กซ์-เคมีภัณฑ์-สารเคมี.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [38] MySkinRecipes. 2559. Natural White Beeswax. [Online]. Available: <http://www.myskinrecipes.com/shop/ส่วนประกอบเครื่องสำอางค์/206-บีส์แว็กซ์-beeswax-cera-alba.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 19 ธ.ค. 59.
- [39] Wikipedia. 2552. Beeswax. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Beeswax>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 ธ.ค. 59.
- [40] CAMEO Materials Database. 2559. Microcrystalline wax. [Online]. Available: http://cameo.mfa.org/wiki/Microcrystalline_wax. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 59.
- [41] MySkinRecipes. 2559. Microcrystalline Wax (Refined). [Online]. Available: <http://www.myskinrecipes.com/shop/make-up-bb-ccream/616microcrystalline-wax-ไมโครคริสตัลไลน์-แว็กซ์.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 59.
- [42] Hellotrade. 2559. Microcrystalline wax. [Online]. Available: <http://www.hellotrade.com/suppliers?ss=microcrystalline+wax&pg=2>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 59.
- [43] Wikipedia. 2559. ไชคาร์บอนบา. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/ไชคาร์บอนบา>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ม.ค. 59.
- [44] Wikipedia. 2559. Carnauba wax. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Carnauba_wax. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ม.ค. 59.
- [45] Kinggloss (Thailand). 2559. คาร์นูบาแว็กซ์ Carnauba wax คืออะไร. [Online]. Available: http://www.kinggloss.com/บทความ-คาร์นูบาแว็กซ์_Carnauba_wax_คืออะไร. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 ม.ค. 59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [46] Dr. Charles E. Sundin. 2556. **Organic chemistry 354 lipids**. [Online]. Available: <http://people.uwplatt.edu/~sundin/354-7/1547-49.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 59.
- [47] Wikipedia. 2559. **พาราฟิน**. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/พาราฟิน>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 59.
- [48] Blanic. 2553. **Paraffin wax**. [Online]. Available: <http://www.blanic.co.za/oil-paraffin.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 59.
- [49] วิชาการ.คอม. 2556. **พาราฟิน แวกซ์ (PARAFFIN WAX)**. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/blog/38467/8554>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ม.ค. 59.
- [50] The International Group, Inc. (IGI). 2555. **General Properties of Paraffin Wax**. [Online]. Available: <http://www.igiwax.com/reference/waxbasics.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 59.
- [51] กฤตชัย เพ็ญวิจิตร, ธนชัย คณาสิทธิบุญ และชญาดา เปรมวิจิตร. 2553. การผลิตสีทาอาคารจากยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 5-6.
- [52] Science news บทความวิทยาศาสตร์. 2014. **โครงสร้างของยางธรรมชาติ**. [Online]. Available: http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ม.ค. 59.
- [53] HEIPHAR ENGINEERING. 2557. **ยางแท่ง**. [Online]. Available: <http://heiphar.blogspot.com/2014/10/STR-Standard-Thai-Rubber.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ม.ค. 59.
- [54] สถาบันพลาสติก. 2559. **อุตสาหกรรมกลางน้ำ**. [Online]. Available: http://rubber.oie.go.th/box/Article/4438/rubber-2nd_STR_4438_1.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 ม.ค. 59.
- [55] ภาวิ พัฒนกุล. 2554. **ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์**. [Online]. Available: <http://rubber-thai.com/yang/administrator/jour/98.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 21 ม.ค. 59.
- [56] เพลินพิศบุชาธรรม. 2558. **CNR ยางธรรมชาติมูลค่าเพิ่มสูงชนิดใหม่**. [Online]. Available: http://rubber.oie.go.th/rrd/file/presentationCNR_25_June_2015.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 ธ.ค. 59.
- [57] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. **ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. บทที่ 2 ปฏิบัติการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ**. [Online]. Available: <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pe-ntec/Download/Chapter%20%20Free%20radical%20po%20lymerization.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 ก.พ. 59.
- [58] สมาคมการพิมพ์ไทย. 2553. **หมึกพิมพ์ออฟเซต**. [Online]. Available: http://www.thaiprint.org/thaiprint/index.php?option=com_zoo&view=item&item_id=309&Itemid=54. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ก.พ. 59.
- [59] เทคโนโลยีการพิมพ์. 2551. **การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ชั้นเหนียว**. [Online]. Available: https://xn-12cf0dj0aaufr9l0ai2m6ab4p.blogspot.com/2011.07/blogpost_2.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 7 ก.พ. 59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [60] JOTUN (Thailand). 2559. เอกสารข้อมูลเทคนิค. [Online]. Available: http://www.jotun.com/Datasheets/Download?url=%2FTDS%2FTDS_24720_Penguard%20Express%20E_th-TH_TH.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ก.พ. 59.
- [61] Döndü İşeri-Çağlar, Emre Baştürk, Burcu Oktay and M. Vezir Kahraman. 2014. Preparation and evaluation of linseed oil based alkyd paints. *Progress in Organic Coatings* 77 (2014): 81–86.
- [62] ชนาคม ไวยติดต่อ, ศิริวรรณ ปิ่นสกุล และสรชา สมบัติภัทรโชค. 2554. การพัฒนาสีพลาสติกขอสจาก EVA สำหรับงานพิมพ์สกรีน. *คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. หน้า 50-62.
- [63] Z.O. Oyman, W. Ming and R. van der Linde. 2005. Oxidation of drying oils containing non-conjugated and conjugated double bond catalyzed by a cobalt catalyzed. *Organic Coatings* 54: 198-204.
- [64] P. Karmalm, T. Hjertberg, A. Jansson, R. Dahl and K. Ankner. 2009. Network formation by epoxidised soybean oil in plastisol poly(vinyl chloride). *Polymer Degradation and Stability* (2009): 1986–1990.
- [65] F.I. Altuna, L. Esposito, R.A. Ruseckaite and P.M. Stefani. 2010. Syntactic foams from copolymers based on epoxidized soybean oil. *Composites: Part A* 41 (2010): 1238–1244.
- [66] ณีฐดนัย อุณเกษม. 2557. การพัฒนาสารไวไฟฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันทั้ง และน้ำยางธรรมชาติสำหรับแผ่นไม้พาร์ทิเคิล. *คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. หน้า 60-80.
- [67] พงศ์ยุทธ์ จันทอง, สุขปา เนตรประดิษฐ์ และชนธร ทองสัมฤทธิ์. 2550. การผลิตและพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนที่มีตัวทำละลายฐานน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อสิ่งแวดล้อม. *คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. หน้า 52-74.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ปัญหาที่เกิดขึ้นของหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่เตรียมได้ และวิธีแก้ไข

ตารางที่ ก-1 ปัญหาที่เกิดขึ้นของหมึกพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่เตรียมได้ และวิธีแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
• ขณะทำการอุดหมึกลงร่อง เนื้อหมึกไม่เกาะแม่พิมพ์	1. ปริมาณของน้ำมันในหมึกพิมพ์มากเกินไป 2. เนื้อหมึกมีความหนืดต่ำ	1. ลดปริมาณสัดส่วนของ ESO หรือน้ำมันชักแห้ง 2. เพิ่มปริมาณสัดส่วนของ ENR-25 หรือแว็กซ์ในหมึกพิมพ์
• ภาพพิมพ์ที่ได้จากการถ่ายโอนแบบพื้นราบเห็นรอยกลุ่มก้อนเขม่าดำ ไม่สม่ำเสมอ	1. ขนาดของอนุภาคเขม่าดำมีขนาดใหญ่	1. ทำการบดลดขนาดอนุภาคเขม่าดำ
• ภาพพิมพ์ที่ได้จากการถ่ายโอนแบบพื้นราบสีติดบนชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ มีรอยต่างของเนื้อสี และเกิดเป็นรอยคลื่น	1. ปริมาณของน้ำมันในหมึกพิมพ์มากเกินไป 2. เนื้อหมึกมีความหนืดต่ำ	1. ลดปริมาณสัดส่วนของ ESO หรือน้ำมันชักแห้ง 2. เพิ่มปริมาณสัดส่วนของ ENR-25 หรือแว็กซ์ในหมึกพิมพ์
• เมื่อทำการปาดหมึกพิมพ์แบบหนา เกิดรอยซึมสีเหลืองรอบหมึกพิมพ์	1. ปริมาณของน้ำมันในหมึกพิมพ์มากเกินไป	1. ลดปริมาณสัดส่วนของ ESO หรือน้ำมันชักแห้ง 2. เพิ่มปริมาณหรือลดขนาดเขม่าดำเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำมัน
• ภาพพิมพ์ที่ได้เกิดรอยเปื้อนสีเทาของเขม่าดำ	1. ปริมาณของน้ำมันในหมึกพิมพ์มากเกินไป 2. เช็ดหมึกออกจากแม่พิมพ์ไม่หมด	1. ลดปริมาณสัดส่วนของ ESO หรือน้ำมันชักแห้ง 2. เพิ่มเวลาการเช็ดหมึกให้นานมากขึ้น
• ภาพพิมพ์ที่ได้จากการถ่ายโอนแบบลายเส้น (Hard ground) และแบบความละเอียดสูง (Aquatint) มีความคมชัดของลวดลายต่ำ	1. ขนาดของอนุภาคเขม่าดำมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถลงร่องลวดลายแม่พิมพ์ได้	1. ทำการบดลดขนาดอนุภาคเขม่าดำ

ตารางที่ ก-1 ปัญหาที่เกิดขึ้นของหมักพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่เตรียมได้ และวิธีแก้ไข [ต่อ]

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
• สีภาพพิมพ์ที่ได้มีค่าความสว่างสูง หรือความเข้มสีต่ำ	1. ปริมาณเขม่าดำน้อยเกินไป 2. ขนาดเขม่าดำใหญ่เกินไป	1. เพิ่มปริมาณเขม่าดำให้ได้ความเข้มหมักตามต้องการ 2. บดลดอนุภาคเขม่าดำ เนื่องจากเมื่ออนุภาคเล็กลงพื้นที่ผิวมากขึ้น การดูดกลืนแสงของสีจะเพิ่มขึ้น
• หมักพิมพ์ไม่ยึดติด เกิดการหลุดของเขม่าดำ	1. ปริมาณเขม่าดำมากเกินไป 2. ขนาดอนุภาคเขม่าดำใหญ่ไป 3. ปริมาณ ENR-25 หรือสารช่วยยึดติดน้อยไม่เพียงพอต่อการคลุมเขม่าดำ 4. เกิดการเชื่อมโยงเป็นฟิล์มไม่เพียงพอที่จะคลุมผงเขม่าดำ	1. ลดปริมาณเขม่าดำ 2. บดลดขนาดอนุภาคเขม่าดำ 3. เพิ่มปริมาณ ENR-25 หรือสารช่วยยึดติด 4. เพิ่มปริมาณน้ำมันชักแห้งเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงฟิล์มมากขึ้น
• ใช้เวลาในการแห้งผิวนาน	1. ESO ที่ใช้เป็นฐานหมักพิมพ์ที่เป็นน้ำมันชนิดแห้งช้า (Semi-drying oil)	1. เพิ่มสัดส่วนปริมาณน้ำมันชักแห้ง
• เสถียรภาพอายุการใช้งาน และการเก็บรักษาต่ำ	1. เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับกรดไขมันในหมักพิมพ์ เกิดการเชื่อมขวางเป็นฟิล์มระหว่างการจัดเก็บ	1. เก็บในภาชนะที่ปิดอย่างแน่นหนา อาจใช้แว็กซ์หรือพลาสติกปิดบริเวณผิวหน้าเพื่อป้องกันออกซิเจนในอากาศ

ปัญหาต่าง ๆ ที่มักเกิดขึ้นของหมักพิมพ์เอทซึ่งฐานน้ำมันที่เตรียมได้ ขณะปฏิบัติงานทางเทคนิคนั้น อาจมีองค์ประกอบ และปัจจัยในหลายส่วน ดังนั้นขอแนะนำให้ผู้ปฏิบัติงานควรศึกษา และทำความเข้าใจกับวัสดุ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนขั้นตอน และวิธีการปฏิบัติงานให้ถูกต้อง เพื่อฝึกฝนทักษะความสามารถให้มีความชำนาญ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรอบคอบ และปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องตามกระบวนการทางเทคนิคในระดับสากล สร้างผลงานภาพพิมพ์ที่มีคุณภาพสู่การพัฒนา และสร้างสรรค์ผลงานในขั้นสูงต่อไป

ภาคผนวก ข

อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์

ตารางที่ ข-1 อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์ (หน่วยกรัม)

สูตรที่	ชื่อสูตร	ENR-25	ESO	WAX	LINSEED OIL	TUNG OIL	BPO	เขม่าดำ	รวม
1	A10W1L2CO(1.7)B	0.62	6.20	0.68	2.50	-	0.10	1.70	11.80
2	A10W1L2CM(1.7)B	0.62	6.20	0.68	2.50	-	0.10	1.70	11.80
3	A10W1T2CM(1.7)B	0.62	6.20	0.68	-	2.50	0.10	1.70	11.80
4	A10W1L1T1CB2(1.7)B	0.62	6.20	0.68	1.25	1.25	0.10	1.70	11.80
5	A10W1L1T1CB2(1.7)	0.62	6.20	0.68	1.25	1.25	-	1.70	11.70
6	A13W1L1T1CB4(1.7)	0.79	6.03	0.68	1.25	1.25	-	1.70	11.70
7	A13W1L1T1CB6(2.5)	0.79	6.03	0.68	1.25	1.25	-	2.50	12.50
8	A13W1L1T1CB8(3.3)	0.79	6.03	0.68	1.25	1.25	-	3.30	13.30
9	A13W1L1T1CB8(4.9)	0.79	6.03	0.68	1.25	1.25	-	4.90	14.90
10	A13W1L1T1CB8(6.5)	0.79	6.03	0.68	1.25	1.25	-	6.50	16.50
11	A15W1L1T1CB8(6.5)	0.89	5.93	0.68	1.25	1.25	-	6.50	16.50
12	A15W2L1T1CB8(6.5)	0.82	5.43	1.25	1.25	1.25	-	6.50	16.50
13	A15W3L1T1CB8(6.5)	0.75	5.02	1.73	1.25	1.25	-	6.50	16.50
14	A15W3L1T1CD5(6.5)	0.75	5.02	1.73	1.25	1.25	-	6.50	16.50
15	A15W3L1T1CD8(6.5)	0.75	5.02	1.73	1.25	1.25	-	6.50	16.50
16	A15W3L2CD8(6.5)	0.75	5.02	1.73	2.50	-	-	6.50	16.50
17	A15W3T2CD8(6.5)	0.75	5.02	1.73	-	2.50	-	6.50	16.50

ตารางที่ ข-2 อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์ (เปอร์เซ็นต์)

สูตรที่	ชื่อสูตร	ENR-25	ESO	WAX	LINSEED OIL	TUNG OIL	BPO	เขม่าดำ	รวม
1	A10W1L2CO(1.7)B	5.25	52.52	5.78	21.19	-	0.85	14.41	100
2	A10W1L2CM(1.7)B	5.25	52.52	5.78	21.19	-	0.85	14.41	100
3	A10W1T2CM(1.7)B	5.25	52.52	5.78	-	21.19	0.85	14.41	100
4	A10W1L1T1CB2(1.7)B	5.25	52.52	5.78	10.59	10.59	0.85	14.41	100
5	A10W1L1T1CB2(1.7)	5.29	52.97	5.83	10.69	10.69	-	14.53	100
6	A13W1L1T1CB4(1.7)	6.70	51.57	5.83	10.69	10.69	-	14.53	100
7	A13W1L1T1CB6(2.5)	6.28	48.27	5.45	10.00	10.00	-	20.00	100
8	A13W1L1T1CB8(3.3)	5.91	45.37	5.14	9.34	9.34	-	24.81	100
9	A13W1L1T1CB8(4.9)	5.26	40.50	4.58	8.39	8.39	-	32.88	100
10	A13W1L1T1CB8(6.5)	4.75	36.57	4.13	7.58	7.58	-	39.39	100
11	A15W1L1T1CB8(6.5)	5.39	35.93	4.13	7.58	7.58	-	39.39	100
12	A15W2L1T1CB8(6.5)	4.94	32.94	7.58	7.58	7.58	-	39.39	100
13	A15W3L1T1CB8(6.5)	4.56	30.41	10.48	7.58	7.58	-	39.39	100
14	A15W3L1T1CD5(6.5)	4.56	30.41	10.48	7.58	7.58	-	39.39	100
15	A15W3L1T1CD8(6.5)	4.56	30.41	10.48	7.58	7.58	-	39.39	100
16	A15W3L2CD8(6.5)	4.56	30.41	10.48	15.15	-	-	39.39	100
17	A15W3T2CD8(6.5)	4.56	30.41	10.48	-	15.15	-	39.39	100

หมายเหตุ ENR-25 ความหมาย ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์เกรด 25

ESO ความหมาย น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไคซ์

BPO ความหมาย เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์

ภาคผนวก ค
ศึกษาผลการบดผงเขม่าดำ

ตารางที่ ค-1 ค่าขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้อง Digital Light Microscope

ตำแหน่งที่	ตัวอย่างของเขม่าดำ							
	CO	CM	CB2	CB4	CB6	CB8	CD5	CD8
1	14.005	10.936	3.471	6.135	3.093	4.424	3.880	1.735
2	12.079	3.458	7.155	8.677	2.187	3.681	8.231	1.227
3	21.036	13.123	6.941	9.893	2.187	3.471	3.681	2.454
4	6.562	5.576	5.488	2.454	4.640	2.744	3.880	2.744
5	12.754	9.782	6.608	5.488	3.093	2.454	4.424	2.744
6	7.733	14.005	5.059	6.941	4.640	3.471	2.744	1.735
7	15.232	3.093	6.135	11.112	3.093	1.735	3.681	1.227
8	10.375	2.187	6.608	6.608	3.093	3.681	3.681	2.454
9	6.377	7.733	8.933	6.135	5.576	1.735	2.454	2.454
10	9.280	8.749	9.893	7.761	4.374	2.744	2.454	1.227
11	11.259	5.576	5.059	4.424	4.640	4.908	4.908	2.454
12	8.329	12.754	8.849	6.257	4.374	2.454	6.257	2.744
13	9.018	10.936	6.608	9.893	3.093	3.880	6.135	2.744
14	9.018	7.886	5.488	7.464	5.576	3.471	3.471	2.454
15	10.936	7.761	6.941	4.908	4.640	2.454	3.471	2.744
16	11.259	7.886	6.135	4.424	4.640	3.681	1.227	2.744
17	10.826	12.469	5.488	5.488	5.576	2.454	2.744	2.744
18	9.408	6.917	5.488	6.257	4.891	3.681	2.454	2.744
19	22.992	4.891	4.908	4.424	3.093	3.681	1.227	2.744
20	12.469	8.749	6.608	8.933	3.458	2.454	6.135	1.735
21	17.013	6.186	6.135	5.206	1.547	3.880	1.735	1.735
22	20.165	3.093	4.908	6.608	3.093	2.744	4.424	1.227
23	11.529	5.576	7.155	7.761	3.093	3.681	1.227	2.744
24	15.543	8.749	3.471	9.584	3.458	2.744	2.744	1.735
25	11.259	8.749	9.893	8.231	3.093	3.880	3.471	3.471
26	6.186	12.811	4.908	5.059	5.059	3.681	2.744	2.454

ตารางที่ ค-1 ค่าขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้อง Digital Light Microscope [ต่อ]

ตำแหน่งที่	ตัวอย่างของเขม่าดำ							
	CO	CM	CB2	CB4	CB6	CB8	CD5	CD8
27	15.311	2.744	4.908	4.424	4.424	2.744	1.735	2.744
28	13.304	3.880	7.464	6.135	3.880	3.880	1.227	2.454
29	14.259	10.556	8.849	10.556	4.424	3.681	2.744	2.744
30	13.919	10.119	5.059	4.908	7.155	2.744	2.454	2.744
31	6.917	6.350	6.135	6.257	4.424	3.681	1.735	2.744
32	9.782	3.471	7.857	6.608	5.488	4.424	2.744	2.744
33	9.280	2.454	11.313	7.464	5.488	3.471	1.227	2.454
34	10.826	9.893	8.677	7.857	3.471	2.454	2.454	1.227
35	8.329	6.257	8.933	4.424	4.424	2.454	2.454	2.454
36	6.377	9.345	5.206	7.155	5.488	2.454	2.744	1.735
37	12.079	5.059	5.488	6.135	2.744	3.093	1.227	1.735
38	8.749	6.608	6.135	4.424	5.206	3.880	2.744	1.227
39	10.936	6.135	4.908	5.206	4.908	2.454	2.744	1.227
40	18.559	13.553	4.908	8.933	5.488	2.454	2.744	2.744
41	13.833	11.044	6.941	5.206	5.206	4.908	1.735	3.880
42	9.408	6.608	10.119	6.608	3.880	2.744	2.454	2.744
43	9.018	12.271	6.257	4.908	4.424	1.735	1.735	1.227
44	6.917	10.484	6.257	3.880	5.488	3.880	2.744	1.735
45	9.408	5.059	7.464	6.941	5.206	3.471	2.744	2.454
46	3.093	3.681	6.135	6.608	4.908	2.744	2.744	1.735
47	4.640	10.119	7.464	7.155	3.471	3.880	1.227	2.744
48	7.886	11.313	5.059	3.880	6.135	2.744	2.744	2.744
49	6.186	9.345	4.424	7.761	5.059	2.454	2.744	2.454
50	6.562	6.135	8.677	5.488	7.857	3.880	1.735	1.227
ค่าเฉลี่ย	10.96	7.84	6.58	6.45	4.36	3.20	2.94	2.26
SD	4.19	3.29	1.85	1.90	1.25	0.77	1.45	0.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

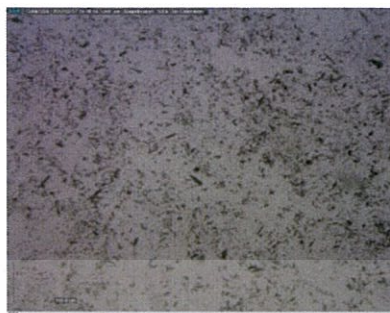
ตารางที่ ค-2 ขนาดอนุภาคของผงเขม่าดำที่วัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
Scanning Electron Microscopy (SEM)

ตำแหน่งที่	ตัวอย่างของเขม่าดำ				
	CO	CM	CB8	CD5	CD8
1	15.00	5.83	4.17	4.17	2.50
2	31.67	10.00	5.00	2.50	2.50
3	14.17	6.67	2.50	4.17	2.50
4	16.67	7.50	4.17	1.67	4.17
5	16.67	11.67	7.50	2.50	2.50
6	22.50	6.67	6.67	2.50	2.50
7	41.67	14.17	0.83	4.17	2.50
8	8.33	12.50	4.17	2.50	2.50
9	10.00	7.50	3.33	2.50	1.67
10	10.83	8.33	4.17	3.33	1.67
11	19.17	10.00	5.00	3.33	3.33
12	20.83	5.00	5.00	2.50	3.33
13	25.00	23.33	4.17	2.50	1.67
14	18.33	7.50	6.67	3.33	3.33
15	25.00	7.50	3.33	1.67	3.33
16	8.33	4.17	5.83	3.33	1.67
17	16.67	11.67	3.33	3.33	2.50
18	15.83	8.33	8.33	2.50	1.67
19	11.67	7.50	5.00	4.17	2.50
20	10.83	10.83	5.83	2.50	1.67
เฉลี่ย	17.96	9.33	4.75	2.96	2.50
SD	8.28	4.19	1.71	0.79	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ภาพแสดงขนาดอนุภาคของเขม่าดำ



ผงเขม่าดำ CO



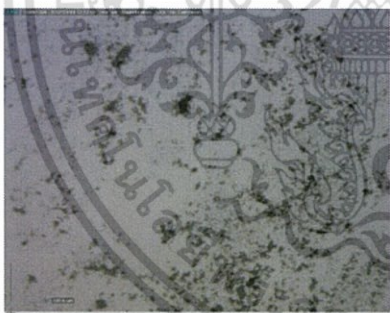
ผงเขม่าดำ CM



ผงเขม่าดำ CB2



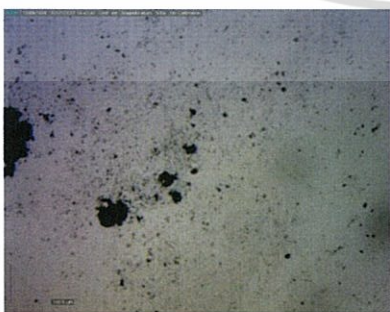
ผงเขม่าดำ CB4



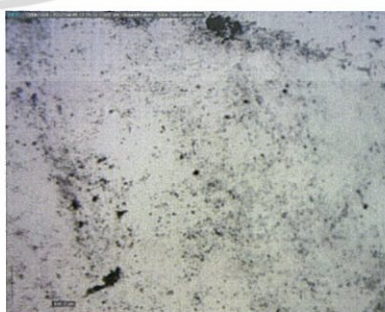
ผงเขม่าดำ CB6



ผงเขม่าดำ CB8



ผงเขม่าดำ CD5



ผงเขม่าดำ CD8

รูปที่ ง-1 ภาพแสดงขนาดอนุภาคตัวอย่างของเขม่าดำตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

ชนิดดิจิทัล (Digital Light Microscope) กำลังขยาย 500x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การหาค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้

ตารางที่ จ-1 ค่าความสว่าง (L^*) ของหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ กับหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ หลังการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ด้วยเทคนิคเอทซิงแบบพื้นราบ

สูตรหมึกพิมพ์	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย	SD
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	27.60	27.56	28.59	27.92	0.58
A10W1L2CO(1.7)B	34.45	34.60	36.30	35.12	1.03
A10W1L2CM(1.7)B	38.62	40.00	40.18	39.60	0.85
A10W1T2CM(1.7)B	47.98	42.66	40.97	43.87	3.66
A10W1L1T1CB2(1.7)B	43.88	43.27	43.17	43.44	0.38
A10W1L1T1CB2(1.7)	37.67	36.90	38.59	37.72	0.85
A13W1L1T1CB4(1.7)	25.56	25.66	25.99	25.74	0.23
A13W1L1T1CB6(2.5)	26.93	26.51	26.66	26.70	0.21
A13W1L1T1CB8(3.3)	25.01	24.59	23.97	24.52	0.52
A13W1L1T1CB8(4.9)	20.20	19.99	20.47	20.22	0.24
A13W1L1T1CB8(6.5)	21.46	21.54	21.28	21.43	0.13
A15W1L1T1CB8(6.5)	21.77	21.39	22.00	21.72	0.31
A15W2L1T1CB8(6.5)	21.59	21.50	21.76	21.62	0.13
A15W3L1T1CB8(6.5)	23.13	23.46	22.89	23.16	0.29
A15W3L1T1CD5(6.5)	22.37	22.30	22.32	22.33	0.04
A15W3L1T1CD8(6.5)	23.51	23.32	23.28	23.37	0.12
A15W3L2CD8(6.5)	22.97	23.03	23.38	23.13	0.22
A15W3T2CD8(6.5)	22.89	23.27	23.15	23.10	0.19

ภาคผนวก ฉ

เปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_S) กับลวดลายบนกระดาษ (D_P)

ตารางที่ ฉ-1 เปอร์เซ็นต์ของผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายแม่พิมพ์ (D_S) กับลวดลายบนกระดาษ (D_P)

สูตร	ตำแหน่งที่	D_P (mm)		Average of D_P (mm)	ΔD_{SP}	% D_{SP}
		D_{P1}	D_{P2}			
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	1	0.155	0.168	0.162	-0.007	-4.19
	2	0.193	0.215	0.204	-0.011	-5.70
	3	0.229	0.228	0.229	-0.001	-0.22
	4	0.619	0.622	0.621	-0.015	-2.39
	5	0.261	0.261	0.261	0.000	0.00
A15W3L1T1CD5(6.5)	1	0.155	0.174	0.165	-0.009	-6.13
	2	0.194	0.215	0.205	-0.012	-5.96
	3	0.237	0.228	0.233	-0.004	-1.97
	4	0.614	0.632	0.623	-0.017	-2.81
	5	0.261	0.266	0.264	-0.003	-0.96
A15W3L1T1CD8(6.5)	1	0.168	0.155	0.162	-0.007	-4.19
	2	0.205	0.205	0.205	-0.012	-6.22
	3	0.233	0.224	0.229	-0.001	-0.22
	4	0.619	0.624	0.622	-0.016	-2.56
	5	0.265	0.261	0.263	-0.002	-0.77

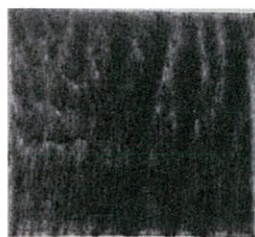
หมายเหตุ

$$\% \Delta D_{SP} = \frac{\Delta D_{SP}}{D_S} \times 100$$

- เมื่อ D_S คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะ
- D_{S1} คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.155
- D_{S2} คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 0.193
- D_{S3} คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 0.228
- D_{S4} คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะตำแหน่งที่ 4 เท่ากับ 0.606
- D_{S5} คือ ระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะตำแหน่งที่ 5 เท่ากับ 0.261
- D_P คือ ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษ
- D_{P1} คือ ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษครั้งที่ 1
- D_{P2} คือ ระยะห่างของลวดลายบนกระดาษครั้งที่ 2
- ΔD_{SP} คือ ผลต่างระหว่างระยะห่างของลวดลายบนแม่พิมพ์โลหะกับลวดลายบนกระดาษ

ภาคผนวก ข

ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบต่าง ๆ



A10W1L2CO(1.7)B



A10W1L2CM(1.7)B



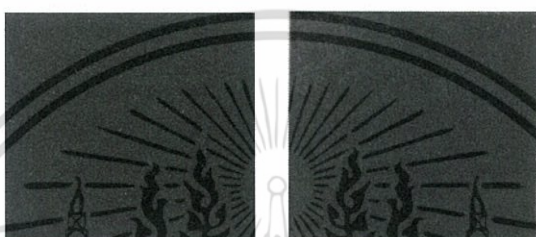
A10W1T2CM(1.7)B



A10W1L1T1CB2(1.7)B



A10W1L1T1CB2(1.7)



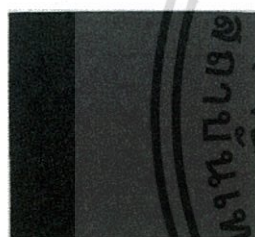
A13W1L1T1CB4(1.7)



A13W1L1T1CB6(2.5)



A13W1L1T1CB8(3.3)



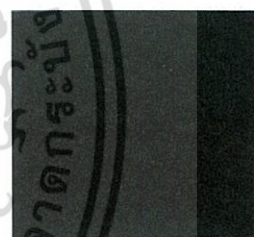
A13W1L1T1CB8(4.9)



A13W1L1T1CB8(6.5)



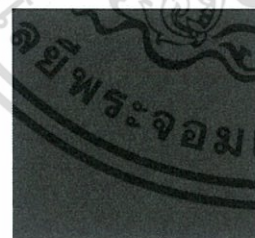
A15W1L1T1CB8(6.5)



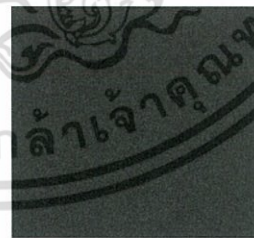
A15W2L1T1CB8(6.5)



A15W3L1T1CB8(6.5)



A15W3L1T1CD5(6.5)



A15W3L1T1CD8(6.5)

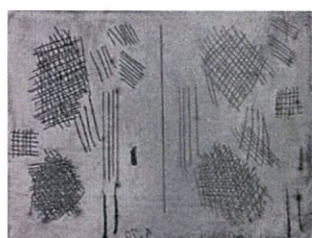


A15W3L2CD8(6.5)

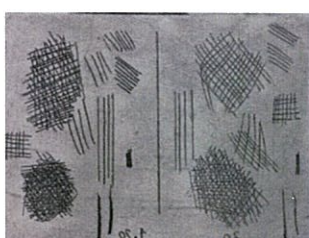


A15W3T2CD8(6.5)

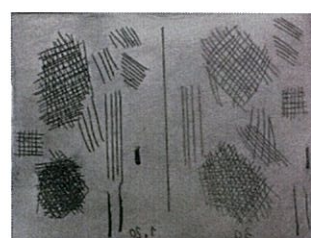
รูปที่ ข-1 ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบพื้นราบของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



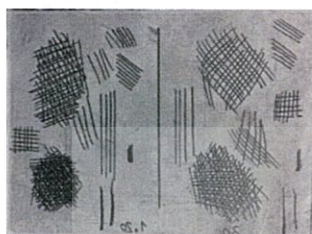
A10W1L2CO(1.7)B



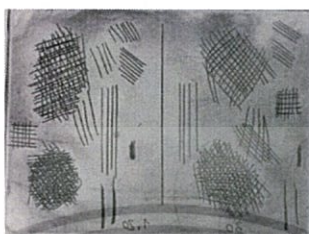
A10W1L2CM(1.7)B



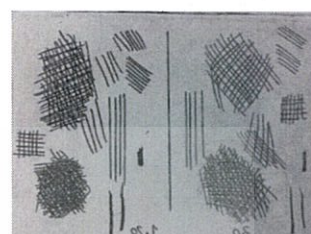
A10W1T2CM(1.7)B



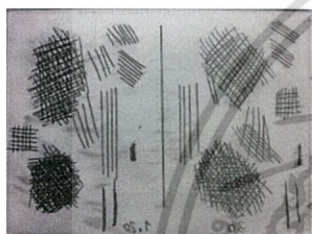
A10W1L1T1CB2(1.7)B



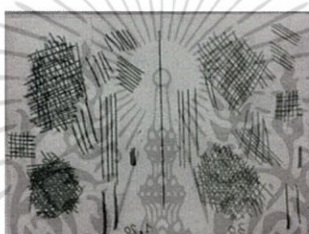
A10W1L1T1CB2(1.7)



A13W1L1T1CB4(1.7)



A13W1L1T1CB6(2.5)



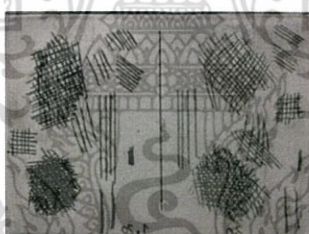
A13W1L1T1CB8(3.3)



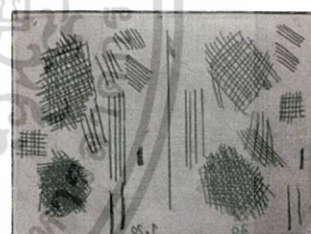
A13W1L1T1CB8(4.9)



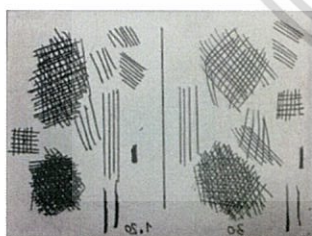
A13W1L1T1CB8(6.5)



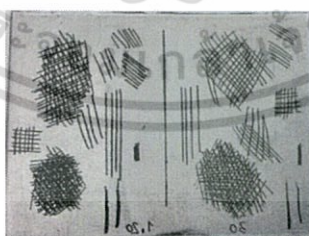
A15W1L1T1CB8(6.5)



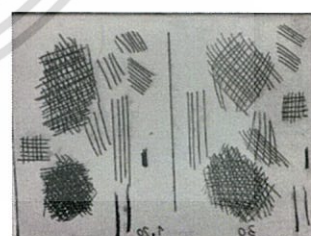
A15W2L1T1CB8(6.5)



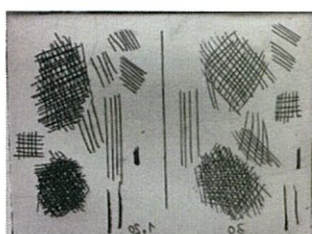
A15W3L1T1CB8(6.5)



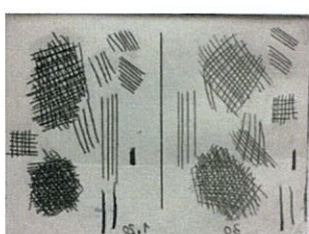
A15W3L1T1CD5(6.5)



A15W3L1T1CD8(6.5)



A15W3L2CD8(6.5)



A15W3T2CD8(6.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข-2 ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบ Hard ground ของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้



A10W1L2CO(1.7)B



A10W1L2CM(1.7)B



A10W1T2CM(1.7)B



A10W1L1T1CB2(1.7)B



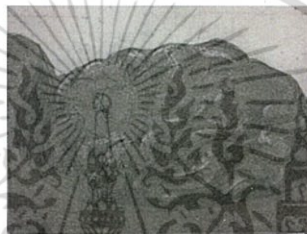
A10W1L1T1CB2(1.7)



A13W1L1T1CB4(1.7)



A13W1L1T1CB6(2.5)



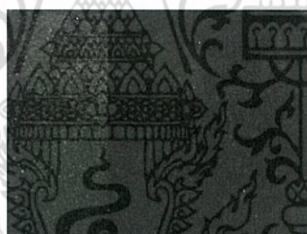
A13W1L1T1CB8(3.3)



A13W1L1T1CB8(4.9)



A13W1L1T1CB8(6.5)



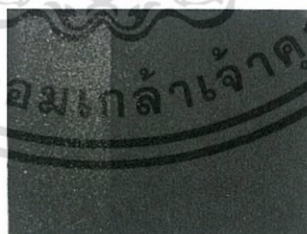
A15W1L1T1CB8(6.5)



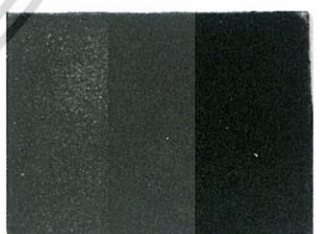
A15W2L1T1CB8(6.5)



A15W3L1T1CB8(6.5)



A15W3L1T1CD5(6.5)



A15W3L1T1CD8(6.5)



A15W3L2CD8(6.5)



A15W3T2CD8(6.5)

รูปที่ ข-3 ภาพแสดงภาพพิมพ์ด้วยเทคนิคภาพพิมพ์เอทซิงแบบ Aquatint (แบบที่ 1 และแบบที่ 2) ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

