

การพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกขอลจาก EVA/NR และ EVA/ENR
สำหรับงานพิมพ์สกรีน

DEVELOPMENT OF EVA/NR and EVA/ENR PLASTISOL INK FOR SILK
SCREEN PRINTING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-014-016

การพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจาก EVA/NR และ EVA/ENR
สำหรับงานพิมพ์สกรีน

DEVELOPMENT OF EVA/NR and EVA/ENR PLASTISOL INK FOR SILK
SCREEN PRINTING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KMITL-2017-SC-M-014-016
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF EVA/NR and EVA/ENR PLASTISOL INK FOR SILK
SCREEN PRINTING



PRAWIT ARNUTNANON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-SC-M-014-016



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “การพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกขอลจาก EVA/NR และ EVA/ENR สำหรับงานพิมพ์สกรีน”
“DEVELOPMENT OF EVA/NR AND EVA/ENR PLASTISOL INK FOR SILK SCREEN PRINTING”

ชื่อนักศึกษา นายประวิทย์ อาณัตินันท์

รหัสประจำตัว 57605053

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์)

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ รักชลธี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิดา ตระกูลสุจริตโชค ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ รักชลธี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ จันทร์ที่ 19 มิถุนายน พ.ศ.2560 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 301 อาคารพระจอมเกล้า

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชณี ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 14 เดือน 10 พ.ศ. 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจาก EVA/NR และ EVA/ENR สำหรับงานพิมพ์สกรีน
ชื่อนักศึกษา	นายประวิทย์ อาณัตินานนท์
รหัสประจำตัว	57605053
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ
อาจารย์ผู้ชำนาญการดำเนินงานสกรีน	อาจารย์ วรา ชัยนิตย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกซอลโดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่างเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) กับยางธรรมชาติ (NR) และ EVA กับยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (ENR) ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ EVA/ยาง เป็น 90/10 80/20 และ 70/30 โดยใช้ไดออกทิลพทาเลต (DOP) และน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ (ESO) เป็นพลาสติกไซเซอร์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์:DOP:ESO เป็น 1:4:3 หลังการผสมสูตรนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ และสกรีนบนผ้าฝ้ายก่อนนำไปอบ และตรวจสอบความคมชัด การเปลี่ยนแปลงสี และความคงทนต่อการซักล้าง พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/ยาง มีความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้าแต่สามารถสกรีนได้เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า โดยหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/ENR มีค่าความหนืดต่ำกว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/NR เพราะความยาวสายโซ่โมเลกุลของ ENR มีค่าต่ำกว่า NR โดยอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในการอบแห้งสัมผัสในเวลา 30 วินาที คือ 75°C ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า (180°C) ผลการทดสอบความคงทนหลังการซักล้าง 5 ครั้ง พบว่าหมึกพิมพ์ EVA/ENR มีความคงทนหลังการซักล้างดีกว่าหมึกพิมพ์ EVA/NR เนื่องจากมีไขมันมากกว่าทำให้เกิดการยึดติดกับผ้าฝ้ายได้ดีขึ้น ดังนั้นหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีความคงทนหลังการซักล้าง 5 ครั้งที่ดีที่สุด การศึกษาผลการใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (BPO) เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยงที่ 1 phr พบว่าหมึกพิมพ์มีความคมชัดของลวดลายที่ดีขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้าง 5 ครั้ง ที่น้อยลง โดยใช้อุณหภูมิในการอบ 80°C เป็นเวลา 30 วินาที และจากผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจในเรื่องสีหลังอบให้ความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : งานพิมพ์สกรีน, ยางธรรมชาติ, ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์, สีพลาสติกซอล,
เอทิลไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of EVA/NR and EVA/ENR Plastisol Ink for Silk Screen Printing
Student Name	Mr.Prawit Arnutnanon
Student ID	57605053
Degree	Master of Science (Polymer Technology)
Department	Chemistry
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Pathavuth Monvisade
Thesis Co-advisor	Asst. Prof. Dr.Suparat Rukchonlatee
Specialist for screen printing	Mr.Vara Chaiyanitaya

Abstract

This research studied on the modification of plastisol inks from ethylene vinyl acetate copolymer/natural rubber (EVA/NR) and EVA/epoxidized NR (EVA/ENR). The weight ratios of EVA/rubber were varied at 90/10 80/20 and 70/30. Di-*n*-octylphthalate (DOP) and epoxidized soybean oil (ESO) were used as plasticizers with the weight ratio of polymer:DOP:ESO at 1:4:3. The prepared plastisol inks were tested the properties and later screened on the cotton sheets before ink setting with heat. The pattern sharpness, color tone and washing durability were evaluated. It was found that the viscosities of EVA/rubber based plastisol inks were lower than that of commercial ink; however, they could still be used for screen printing. Additionally, EVA/ENR based plastisol inks had lower viscosities than EVA/NR based plastisol inks due to shorter molecular chains of ENR. For ink setting with a heating period of 30 seconds, the lowest set temperature was 75°C, which was lower than that of the commercial ink (180°C). From washing durability test for 5 cycles, the EVA/ENR based plastisol ink gave better durability than the EVA/NR based plastisol ink due to higher polarity and so better adhesion with cotton sheet. Consequently, the best durability result was from the 82ENR50 plastisol ink, having the greatest polarity. In addition, better pattern sharpness and less color tone change after washing durability test for 5 cycles were achieved when 1 phr benzoyl peroxide (BPO), acted as crosslinking initiator, was

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

applied and the oven heating temperature and time were 80°C and 30 seconds, respectively. Moreover, the satisfaction evaluation results from the screen printing specialists revealed that the 82ENR50B1 plastisol ink was the most satisfied formula in term of the color tone after heating for ink setting.

Keywords : Silk Screen Printing, Natural Rubber, Epoxidized Natural Rubber, Plastisol Ink, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับความรู้ อบรมให้มีการทำงานอย่างเป็นระบบ ช่วยเหลือและตรวจทานการดำเนินงาน วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และอาจารย์วรา ชัยนิตย์ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านงานสกรีนที่ช่วยให้คำแนะนำ ชี้แนะและให้ความช่วยเหลือในการดำเนิน วิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ ผศ.ดร.ธนิดา ตระกูลสุจริตโชค ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและเสนอแนะความคิดเห็นเพื่อ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญและนักศึกษาสาขาภาพพิมพ์ วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ เขตลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินความพึงพอใจการใช้งานหมึก พิมพ์พลาสติกซอลในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ จน วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง รวมถึงรุ่นพี่นักศึกษาทั้งปริญญาโท และเอก และเพื่อน ๆ ภาควิชาเคมี สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจ ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในการดำเนินงาน วิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงาน

ประวิทย์ อาณัตินานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป	ฏ
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การพิมพ์สกรีน.....	5
2.1.1 องค์ประกอบในการสร้างระบบพิมพ์สกรีนด้วยกาวอัด.....	5
2.1.1.1 กรอบสกรีน.....	5
2.1.1.2 ผ้าสกรีน.....	5
2.1.1.3 กาวอัด	6
2.1.1.4 น้ำยาเคลือบแพทลี.....	8
2.2 ระบบการพิมพ์สกรีน.....	8
2.2.1 ระบบการพิมพ์แบบพิมพ์ด้วยมือ	8
2.2.2 ระบบการพิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติ.....	8
2.2.3 ระบบการพิมพ์แบบอัตโนมัติ	8
2.3 หมึกพิมพ์.....	9
2.3.1 หมึกพิมพ์ใช้น้ำ.....	9
2.3.2 หมึกพิมพ์ใช้น้ำมัน.....	9
2.3.3 หมึกพิมพ์ยูวี.....	10
2.3.4 หมึกพิมพ์พลาสติกซอล.....	10
2.4 หมึกพิมพ์พลาสติกซอลในอุตสาหกรรม.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1	องค์ประกอบของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล..... 11
2.4.1.1	สารยึดผงสีหรือเนื้อหมึกพิมพ์..... 11
2.4.1.2	ตัวกลาง..... 11
2.4.1.3	สารให้สี..... 11
2.4.1.3.1	สีย้อม..... 12
2.4.1.3.2	รงควัตถุหรือสีผง..... 12
2.4.1.4	สารเติมแต่ง..... 13
2.4.2	สมบัติทั่วไปของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล..... 14
2.4.3	ประเภทของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล..... 14
2.5	เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์..... 16
2.5.1	ลักษณะทั่วไปของ EVA..... 16
2.5.2	สมบัติของ EVA..... 16
2.5.3	การประยุกต์ใช้งาน..... 17
2.6	ยาง..... 17
2.6.1	ยางธรรมชาติ..... 17
2.6.1.1	น้ำยางธรรมชาติ..... 18
2.6.1.2	ยางแห้ง..... 18
2.6.1.3	ยางธรรมชาติแปรรูป..... 18
2.6.1.4	สมบัติของยางธรรมชาติ..... 19
2.6.1.5	การประยุกต์ใช้งาน..... 20
2.6.2	ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์..... 20
2.6.2.1	ลักษณะทั่วไปของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์..... 20
2.6.2.2	สมบัติของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์..... 20
2.6.2.3	การประยุกต์ใช้งาน..... 20
2.6.3	ยางสังเคราะห์..... 21
2.7	การเชื่อมโยงยาง..... 21
2.7.1	ระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน..... 22
2.7.2	ระบบการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์..... 23
2.7.3	ระบบการเชื่อมโยงด้วยสารเคมีอื่น ๆ..... 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 พลาสติกไฮเซอร์.....	24
2.8.1 พลาสติกไฮเซอร์ชนิดปฐมภูมิ.....	24
2.8.2 พลาสติกไฮเซอร์ชนิดทุติยภูมิ.....	26
2.9 น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์.....	26
2.9.1 สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์.....	27
2.9.2 การประยุกต์ใช้งาน.....	27
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน.....	34
3.1 สารเคมี.....	34
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	35
3.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสีกับ DOP.....	36
3.4 การเตรียมสูตรหมึกพลาสติกซอล.....	37
3.5 การทดสอบสมบัติของวัตถุดิบและหมึกพลาสติกซอล.....	38
3.5.1 การหาค่าความหนืดของยางวัตถุดิบ.....	37
3.5.2 การหาค่าความหนืดของหมึกพิมพ์.....	38
3.5.3 ทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	38
3.6 การสกรีนบนผ้าฝ้าย 100%.....	38
3.7 การทดสอบการแห้งสัมผัส.....	38
3.8 การทดสอบความทนทานของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังการสกรีน.....	38
3.8.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบความทนทาน.....	39
3.8.2 การวัดความคมชัดของลวดลาย.....	39
3.8.3 การวัดเฉดสีด้วยเครื่องวัดสี.....	40
3.9 การปรับเปลี่ยนชนิดของเครื่องให้ความร้อนโดยใช้ไดร์เป่าผม.....	41
3.10 การปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุที่ใช้สกรีน.....	42
3.11 การประเมินความพึงพอใจการใช้การใช้งานของหมึกพลาสติกซอล.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	43
4.1 การพัฒนาหมึกพิมพ์โดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/NR.....	43
4.1.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล.....	43
4.1.2 อุณหภูมิในการเซตตัว.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 สมบัติความคมชัดของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังสกรีน.....	45
4.1.4 ความคมชัดของลวดลายหลังจากได้รับความร้อน	46
4.1.5 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพลาสติกซอลบนผ้าหลังการอบร้อน.....	47
4.1.6 ความคงทนและเสถียรภาพของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังซักล้าง	49
4.1.6.1 ความคมชัดของลวดลายหลังซักล้าง	49
4.1.6.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลัง การซักล้าง	52
4.2 การปรับปรุงหมึกพิมพ์โดยใช้ ENR.....	55
4.2.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล.....	55
4.2.2 สมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล.....	56
4.2.3 อุณหภูมิในการเซตตัว.....	57
4.2.4 ความคมชัดของลวดลายหลังจากได้รับความร้อน	58
4.2.5 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพลาสติกซอลบนผ้าหลังการอบร้อน.....	59
4.2.6 ความคงทนและเสถียรภาพของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังซักล้าง.	60
4.2.6.1 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังจากการซักล้าง.....	60
4.2.6.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลัง การซักล้าง	62
4.3 การปรับปรุงหมึกพิมพ์พลาสติกซอลโดยการเติม BPO เป็นสารริเริ่มการ เชื่อมโยง.....	64
4.3.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์.....	65
4.3.2 สมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล.....	65
4.3.3 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อน.....	66
4.3.4 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังอบให้ ความร้อน.....	67
4.3.5 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังจากการซักล้าง.....	69
4.3.6 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังการซัก ล้าง	71
4.4 การปรับเปลี่ยนชนิดของเครื่องให้ความร้อน.....	72
4.4.1 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อน.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลบนผ้าหลังอบให้ ความร้อน.....	73
4.4.3 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง.....	75
4.4.4 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลบนผ้าหลังการชัก ล้าง	76
4.5 การใช้หมึกพิมพ์พลาสติกขอลกับวัสดุรองรับชนิดต่าง ๆ.....	78
4.6 การประเมินความพึงพอใจการใช้งานของหมึกพลาสติกขอลสำหรับงาน พิมพ์สกรีน.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	87
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	87
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	88
เอกสารอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก ความคมชัดหลังการสกรีนของหมึกพิมพ์พลาสติกขอล.....	96
ภาคผนวก ข ผลความคมชัดของลวดลายหลังการได้รับความร้อนเป็นเวลา 30 วินาที.....	97
ภาคผนวก ค ผลความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง 1 ครั้ง ให้ความร้อนเวลา 30 วินาที.....	101
ภาคผนวก ง ผลความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง 5 ครั้ง ให้ความร้อนเวลา 30 วินาที.....	104
ภาคผนวก จ ผลการวัดเฉดสีของหมึกพลาสติกขอลหลังจากการอบร้อนของหมึกพิมพ์ สูตรต่าง ๆ.....	107
ภาคผนวก ฉ ผลเฉดสีของหมึกพลาสติกขอลหลังชัก 1 ครั้ง ของหมึกสูตรต่าง ๆ.....	109
ภาคผนวก ช ผลเฉดสีของหมึกพลาสติกขอลหลังชัก 5 ครั้ง ของหมึกสูตรต่าง ๆ.....	111
ภาคผนวก ซ ผลเฉดสีของหมึกพลาสติกขอลเกรดการค้า.....	113
ภาคผนวก ฌ ผลเฉดสีของหมึกพลาสติกขอลสูตรที่ผสมด้วย BPO ให้ความร้อนด้วย ไต้ระเบิด.....	114
ภาคผนวก ญ เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่อง DSC ของยางวัตถุดิบและหมึกพิมพ์สูตร ต่าง ๆ.....	115
ภาคผนวก กู สเปกตรัมผงสีแดง.....	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ณ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฎ แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานหมึกพิมพ์พลาสติกซอล	124
ประวัติผู้เขียน.....	125



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	สมบัติของเอทิลีนไวนิลอะซิเตดโคพอลิเมอร์	34
3.2	สมบัติของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์.....	34
3.3	สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์	35
3.4	สูตรพอลิเมอร์ผสม EVA/NR.....	37
4.1	ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/NR.....	43
4.2	อุณหภูมิในการเซตตัวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/NR.....	45
4.3	ความหนืดมูนนีของยางวัลดูดิบ	55
4.4	ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่อัตราส่วน EVA/ยาง เป็น 80/20.....	56
4.5	ค่า T_g , T_m และ ค่า Solubility Parameter ของวัลดูดิบตั้งต้น.....	56
4.6	ค่า T_m และ T_c ขององค์ประกอบในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้.....	57
4.7	อุณหภูมิในการเซตตัวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรต่าง ๆ	58
4.8	ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่มีและไม่มี BPO	65
4.9	ค่า T_m และ T_c ขององค์ประกอบในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ผสม BPO.....	66
4.10	ค่า Δb_{SH}^* ของหมึกพลาสติกซอลที่ไม่ผสมและผสม BPO ที่ 1 และ 10 phr อบที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	68
4.11	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ประเมินที่มีต่อหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรต่าง ๆ.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	อุปกรณ์ในการปฏิบัติการถ่ายด้วยกาวอัด	6
2.2	ตัวอย่างแม่พิมพ์กาวอัด	7
2.3	หมึกพิมพ์พลาสติกซอล	10
2.4	โครงสร้างของ DOP	11
2.5	โครงสร้าง Anthraquinone Dyes (Violet)	12
2.6	โครงสร้าง Azo Dyes.....	12
2.7	โครงสร้าง Azo Pigment (Yellow).....	13
2.8	โครงสร้างของ EVA.....	16
2.9	โครงสร้าง ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน.....	17
2.10	โครงสร้าง ENR.....	20
2.11	โครงสร้างโมเลกุลยางแสดงตำแหน่งของ Allylic Hydrogen.....	22
2.12	การเชื่อมโยงอย่างด้วยกำมะถัน.....	22
2.13	โครงสร้างของ Zinc 2-Mercaptobenzothiazole.....	23
2.14	โครงสร้างของ Zinc Diethyldithiocabamate.....	23
2.15	การเชื่อมโยงอย่างด้วยเปอร์ออกไซด์	24
2.16	การเชื่อมโยงพอลิเมอร์ที่ไม่มีพันธะคู่ด้วยเปอร์ออกไซด์	24
2.17	โครงสร้างของ ESO.....	27
3.1	เครื่องฉายแสง.....	36
3.2	ระยะลวดลายในตำแหน่งต่าง ๆ และบริเวณที่ใช้ในการทดสอบการวัดสีบนบล็อก สกรีน	39
3.3	เครื่องวัดสี.....	41
3.4	แบบจำลอง LAB.....	41
4.1	ตัวอย่างเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR	44
4.2	ผลต่างระหว่างระยะลวดลายบนบล็อกสกรีนกับระยะลวดลายบนผ้าหลังสกรีน (ΔD_{BS}) ของหมึกพิมพ์สูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่ตำแหน่งที่ 1-4	46
4.3	ผลต่างระหว่างระยะลวดลายบนผ้าหลังสกรีนและหลังอบ (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์ พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C ที่ตำแหน่งที่ 1-4	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	48
4.5	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	48
4.6	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซັกล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR อบที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	49
4.7	รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าหลังการซັกล้าง 5 ครั้ง; ก) ชิ้นงานหลังอบ ข) ชิ้นงานหลังการซັกล้าง 1 ครั้ง และ ค) ชิ้นงานหลังการซັกล้าง 5 ครั้ง	50
4.8	ตัวอย่างเนื้อสีหลุดในขั้นตอนการซັกล้างด้วยน้ำของหมึกพิมพ์สูตร 73NR.....	50
4.9	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซັกล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR อบที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	51
4.10	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการซັกล้าง 1 ครั้ง กับความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR หลังการอบ (ΔL_{HW1}^*) ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	53
4.11	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการซັกล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW1}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	53
4.12	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการซັกล้าง 5 ครั้ง กับความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR หลังการอบ (ΔL_{HW5}^*) ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	54
4.13	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการซັกล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	55
4.14	ผลต่างระหว่างระยะลวดลายบนผ้าหลังสกรีนและหลังการอบ (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C ตำแหน่งที่ 1-4.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบกับความสว่างหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C	59
4.16	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (a_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C	60
4.17	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 อบที่อุณหภูมิ 75-90°C	61
4.18	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 อบที่อุณหภูมิ 75-90°C...	61
4.19	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW1}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C	62
4.20	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW1}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	63
4.21	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C	64
4.22	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C.....	64
4.23	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการสกรีน กับหลังอบให้ความร้อน (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO อบที่อุณหภูมิ 75-85°C.....	67
4.24	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบกับหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 75-85°C	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.25	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 75-85°C.....	69
4.26	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO อบที่อุณหภูมิ 75-85°C.....	70
4.27	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) หมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ปรับปรุงด้วยการผสม BPO อบที่อุณหภูมิ 75-85°C	70
4.28	การหลุดออกของหมึกพิมพ์หลังผ่านการชักล้าง 5 ครั้งของหมึกพิมพ์ 82ENR50B1 อบที่อุณหภูมิ 75°C.....	71
4.29	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้งกับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 80°C	72
4.30	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 80°C	72
4.31	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการสกรีน กับหลังอบให้ความร้อน (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนด้วยเตาอบและไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C.....	73
4.32	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบกับหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบ และไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C	74
4.33	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบ และไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C.....	74
4.34	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C และไดร์เป่าผม	75
4.35	ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C และไดร์เป่าผม	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.36	การหลุดออกของเนื้อหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ให้ความร้อนด้วยไตรเป่าผมผ่านการซักล้าง 5 ครั้ง.....	76
4.37	ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 1 และ 5 ครั้งกับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW1}^* และ ΔL_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบและไตรเป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C.....	77
4.38	ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 1 และ 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW1}^* และ Δa_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบและไตรเป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C.....	77
4.39	ภาพชิ้นงานกระดาษอาร์ตมันของพลาสติกซอลสูตร 82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 หลังอบให้ความร้อนที่ 80°C ของหมึกพิมพ์.....	79
4.40	ภาพชิ้นงานผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70 ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 ก่อนและหลังอบให้ความร้อนที่ 80°C.....	80
4.41	ภาพชิ้นงานผ้าไนลอน ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 ก่อนและหลังอบให้ความร้อนที่ 80°C.....	81
4.42	ภาพชิ้นงานผ้าเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 ก่อนและหลังอบให้ความร้อนที่ 80°C.....	82
4.43	ภาพถ่ายด้านหลังชิ้นงานผ้าฝ้าย 100% ที่ถูกสกรีนและอบที่อุณหภูมิ 80°C : ก) ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70 และ ข) ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40.....	83
4.44	ภาพถ่ายด้านหลังชิ้นงานผ้าไนลอนและพอลิเอสเตอร์ที่ถูกสกรีนและอบให้ความร้อนที่ 80°C : ก) ผ้าไนลอน และ ข) ผ้าพอลิเอสเตอร์.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
PVC	= พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(Vinyl Chloride))
EVA	= เอทิลไวนิลอะซิเตต (Ethyl Vinyl Acetate Copolymer)
NR	= ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)
ENR	= ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR)
DOP	= ไดเอินออกทิลฟทาเลต (Di- <i>n</i> -Octyl(Phthalate))
ESO	= น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidize Soybean Oils)
DSC	= เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)
BPO	= เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide)
D1	= ระยะของลวดลายตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.374 mm
D2	= ระยะของลวดลายตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 2.565 mm
D3	= ระยะของลวดลายตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 2.294 mm
D4	= ระยะของลวดลายตำแหน่งที่ 4 เท่ากับ 0.548 mm
L*	= ความสว่าง (Lightness)
a*	= เฉดสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green)
b*	= เฉดเหลืองหรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue)
ΔL_{SH}^*	= ความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังได้รับความร้อน
L_H^*	= ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังอบ
L_S^*	= ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังสกรีน
ΔL_{HW1}^*	= ความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังซักล้าง 1 ครั้ง
L_{W1}^*	= ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังซักล้าง 1 ครั้ง
ΔL_{HW5}^*	= ความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังซักล้าง 5 ครั้ง
L_{W5}^*	= ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังซักล้าง 5 ครั้ง
Δa_{SH}^*	= ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวถึงสีแดงหลังได้รับความร้อน
a_H^*	= เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังอบ
a_S^*	= เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังสกรีน
Δa_{HW1}^*	= ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวถึงสีแดงหลังซักล้าง 1 ครั้ง
a_{W1}^*	= เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังซักล้าง 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
Δa_{HW5}^*	= ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเขียวถึงสีแดงหลังซักล้าง 5 ครั้ง
a_{W5}^*	= เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังซักล้าง 5 ครั้ง
Δb_{5H}^*	= ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำเงินถึงสีเหลืองหลังได้รับความร้อน
b_s^*	= เฉดสีน้ำเงิน-เหลืองของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังสกรีน
b_H^*	= เฉดสีน้ำเงิน-เหลืองของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

การพิมพ์สกรีน (Screen Printing) เป็นเทคนิคในการพิมพ์ภาพลงบนวัตถุที่นิยมในปัจจุบัน โดยการทำให้หมึกพิมพ์ซึมทะลุผ่านผ้าที่ขึงตึงไว้ เฉพาะบริเวณที่เป็นลวดลายเท่านั้น การพิมพ์สกรีนสามารถพิมพ์ลงบนวัตถุได้หลากหลายชนิด เช่น ผ้า ไม้ กระดาษ และพลาสติก เป็นต้น [1] และสามารถพิมพ์ให้เกิดลวดลายพิเศษ เช่น ลายนูนขึ้นมาจากวัตถุ อุตสาหกรรมที่นิยมใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ อุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากเทคนิคการพิมพ์สกรีนสามารถพิมพ์ลวดลายลงบนสิ่งทอได้ง่าย และรวดเร็วทำให้ผลิตได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ นอกจากนี้ในงานพิมพ์สกรีนมีสีให้เลือกใช้หลายประเภท แต่ละประเภทของสีมีสมบัติแตกต่างกันไป โดยหนึ่งในประเภทของสีที่นิยมใช้คือ สีพลาสติกซอล [2] เนื่องจากสามารถพิมพ์งานที่มีความละเอียดสูงได้คมชัดมาก ซึ่งสีพลาสติกซอลนั้นมีส่วนประกอบหลักคือ สารให้สี สารยึดผงสี พลาสติกไซเซออร์ และสารเติมแต่ง ในทางอุตสาหกรรมพลาสติกไซเซออร์ที่นิยมใช้ ได้แก่ ไดเอินออกทิลพทาเลต (Di-*n*-Octyphthalate, DOP) และสารยึดผงสีที่นิยมใช้ ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(Vinyl Chloride), PVC) เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่แข็ง และคงรูปได้ดี [3] แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูง (160°C) ในการเซตตัวเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาคของ PVC ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและเครื่องมือที่ใช้ในการเซตตัวมีราคาสูง ทำให้เกิดข้อจำกัดของการใช้งานของสีพลาสติกซอล [2] และนอกจากนี้เมื่อ PVC ได้รับความร้อนสูง (อุณหภูมิประมาณ 150°C) [4] จะเริ่มเกิดการเสถียรภาพทางความร้อนและปล่อยก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ออกมา โดยก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอัตโนมัติในการเร่งการเสถียรภาพของ PVC ส่วนก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ทำให้เกิดสภาพอากาศเป็นกรด มีผลทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือเสียหาย อันเกิดจากการกัดกร่อนของกรด และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยก่อนหน้า [5] ได้ปรับเปลี่ยนเนื้อสีพลาสติกซอลจากการใช้ PVC เป็นเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA) เพื่อเป็นการปรับปรุงข้อจำกัดการใช้งานของสีพลาสติกซอลแบบเดิม เนื่องจาก EVA มีอุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึกประมาณ 75°C [6] ทำให้ใช้อุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่ต่ำลง และในงานวิจัยดังกล่าวยังพยายามลดปริมาณการใช้ DOP ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ลงบางส่วนเนื่องจาก DOP เป็นสารในกลุ่มพทาเลต พลาสติกไซเซออร์ (Phthalates Plasticizers) ถูกสงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็งโดยผลทางพิษวิทยาที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการศึกษาในสัตว์ทดลองเท่านั้น [8-11] ยังไม่มีผลการศึกษาพิษวิทยาในมนุษย์โดยตรง ทำให้ในทวีปยุโรปได้มีกฎหมายกำหนดปริมาณการปนเปื้อนจากพลาสติกไซเซออร์กลุ่มพทาเลต พลาสติกไซเซออร์ งานวิจัยดังกล่าวจึงเลือกใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized Soybean Oils, ESO) มาทดแทน DOP บางส่วน เนื่องจากโครงสร้างมีสายโซ่คาร์บอนที่ยาวและมีค่าการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกันกับพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ (EVA ~ 9.1-9.5 cal^{1/2}cm^{-3/2}, DOP = 8.85 cal^{1/2}cm^{-3/2} และ ESO = 8.1 cal^{1/2}cm^{-3/2}) [12-13] คาดว่าจะมีความเข้ากันกับพอลิเมอร์ โดยสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างพอลิเมอร์ และทำให้พอลิเมอร์นิ่มขึ้น นอกจากนี้ ESO สังเคราะห์มาจากสารธรรมชาติทำให้ปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม งานวิจัยดังกล่าวพบว่าเนื้อสีที่เตรียมจาก EVA มีความหนืดอยู่ในช่วง 240-660 cP ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความหนืดของสีพลาสติกซอลเกรดการค้า (1800-2000 cP) และสูตรที่มีความหนืดสูงที่สุดคือสูตรที่ใช้ EVA:DOP:ESO เป็น 1:3:4.8 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการทำให้เนื้อสีเกิดการแห้งเซตตัวที่ต่ำที่สุดคือ 60°C โดยใช้เวลาในการอบ 2 นาที แต่เนื้อสีที่ผลิตจาก EVA มีข้อจำกัดด้านความคมชัดของลวดลายหลังการสกรีน เนื่องจากในขณะอบให้ความร้อนเกิดการไหลของเนื้อพอลิเมอร์โดยซึมลงในเนื้อผ้าและขยายตัวในแนวด้านข้าง นอกจากนี้สีมีความคงทนต่อการซักล้างต่ำ โดยพบว่าการจางลงของสีหลังการซักล้างและในสีบางสูตรพบการหลุดออกมาของเนื้อสีทำให้งานวิจัยต่อมา [14] ได้พัฒนาเนื้อหมึกพลาสติกซอลจากการใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer, EVOH) และเอทิลีนเมทิลอะคริเลตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Methyl Acrylate Copolymer, EMA) กับ EVOH มาเป็นเนื้อหมึกพิมพ์แทน PVC โดยการเลือกใช้ EVOH มาผสมกับเนื้อสี EVA เนื่องจาก EVOH มีแรงดึงดูดยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล มีแนวโน้มที่สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับวัสดุได้ดีขึ้น และการนำ EMA มาศึกษาเปรียบเทียบกับ EVA เนื่องจากมีงานวิจัยที่นำ EMA มาใช้ทำเป็นกาวสำหรับยึดติดสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณหมู่ฟังก์ชัน Methyl Acrylate ของ EMA ที่มีมากทำให้มีความเป็นขั้วที่สูง ส่งผลให้มีการยึดติดที่ดี [15] โดยหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีอัตราส่วนพอลิเมอร์:DOP:ESO เท่ากับ 1:6:2 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นปริมาณที่สามารถลดการใช้ DOP และมีปริมาณของ ESO ได้มากที่สุดโดยไม่เกิดการการไหลซึมออกมา (Exudation) ของพลาสติกไซเซออร์ และมีความหนืดที่สามารถนำไปสกรีนลงบนผ้าได้ โดยงานวิจัยดังกล่าวพบว่าอุณหภูมิในการเซตตัวของหมึกพิมพ์ใช้อุณหภูมิต่ำสุดที่ 85°C โดยใช้เวลาในการอบ 30 วินาที ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอบสูงกว่าหมึกพิมพ์จาก EVA (60°C) เนื่องจาก EVOH มีอุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึก (165°C) มากกว่า EVA จึงทำให้อุณหภูมิในการเซตตัวของสีพลาสติกซอลที่เตรียมได้สูงขึ้น แต่ต่ำกว่าหมึกพิมพ์ PVC และมีความคมชัดในการพิมพ์สูงขึ้นใกล้เคียงสีเกรดการค้า แต่เนื้อสีจาก EVA/EVOH และ EMA/EVOH ยังคงจมในเนื้อผ้า จึงไม่เหมาะกับการสกรีนลงบนผ้าสีเข้มเนื่องจากสีจะกลืนไปกับเนื้อผ้า

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงลักษณะของเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกซอล โดยการปรับเนื้อสีด้วยการใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) แม้ว่ายางธรรมชาติมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นและมี T_g ที่ต่ำกว่า EVOH ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้หมึกพิมพ์มีการไหลได้ดีเมื่อได้รับความร้อน โดยใช้อุณหภูมิในการอบให้ความร้อนที่ต่ำกว่า (70-90°C) นอกจากนี้มีการใช้ยางธรรมชาติในสีสกรีนเชื่อน้ำ [2] พบว่ายางธรรมชาติให้ความยืดหยุ่นสูง คืนตัวดี และสีที่ได้มีความมันเงา เมื่อสกรีนลงบนเนื้อผ้าเนื้อสีจะไปจับอยู่บนเส้นใยของผ้าฝ้าย จึงสามารถสกรีนลงบนผ้าสีดำหรือสีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มแล้วสีที่สกรีนยังคงมีความสด เมื่อลองดึงเนื้อผ้าเพื่อยืดลายสกรีนออกเนื้อสีจะยืดออกตามเนื้อผ้า เสมือนมีความยืดหยุ่นเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้มีงานวิจัยโพนจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับ NR [16] พบว่าเมื่อทำการเชื่อมโยงทำให้โพน EVA/NR มีสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นและมีเสถียรภาพทางรูปร่างมากขึ้น แม้ว่า NR มีความยืดหยุ่นที่ดีแต่ NR เป็นยางที่ไม่มีขีดจำกัดว่าจะมีความเข้ากันได้ไม่ดีกับ EVA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีขี้ งานวิจัยนี้จึงนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxydized Natural Rubber, ENR) ซึ่งมีหมู่อีพอกไซด์อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของยาง ทำให้ยางมีขี้มาทำการศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้ NR โดยมีงานวิจัยที่ได้ทำการผสมพอลิแลคติกแอซิด (Poly(Lactic Acid), PLA) กับ NR และ PLA กับ ENR [17] พบว่า ENR มีขี้มากกว่า NR ทำให้มีความเข้ากันได้กับ PLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์มีขี้ และมีงานวิจัยที่ศึกษาพอลิเมอร์ผสม ENR50 กับ EVA เปรียบเทียบสมบัติกับพอลิเมอร์ผสม NR กับ EVA [47] พบว่า ENR50/EVA มีสมบัติเชิงกล การต้านทานต่อน้ำมันที่ดีกว่า NR/EVA และผลสัมฤทธิ์พบว่าเป็น ENR50/EVA มีขนาดของวงแหวนกระจายของ ENR50 ที่เล็กกว่าและมีการกระจายที่ดีกว่า NR ใน NR/EVA แสดงให้เห็นว่า ENR50 มีความเข้ากันได้กับ EVA ที่ดีกว่า NR เพื่อศึกษาผลของหมู่หมู่อีพอกไซด์ใน ENR งานวิจัยนี้จึงใช้ ENR 2 เกรด คือ ENR25 และ ENR50 (มีหมู่อีพอกไซด์ร้อยละ 25 และ 50 โดยโมล ตามลำดับ) นอกจากนี้ทำการปรับลดอัตราส่วนพลาสติกไซเซอร์ต่อพอลิเมอร์ลงจากงานวิจัยก่อนหน้านี้จากอัตราส่วน พอลิเมอร์:พลาสติกไซเซอร์ เป็น 1:8 [17] เป็น 1:7 ซึ่งคาดว่าจะทำให้ความหนืดของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้นและหน่วงเนื้อหมึกพิมพ์ให้ไม่ไหลแปดไปตามรูพรุนของผ้าและติดอยู่บนเนื้อผ้ามากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

พัฒนาสูตรหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสำหรับการพิมพ์สกรีนที่มีการยึดติดและการทนทานต่อการซักล้างที่ดีและใกล้เคียงหมึกพิมพ์เกรดการค้าโดยมีองค์ประกอบหลักของเนื้อสีเป็น EVA/NR และ EVA/ENR

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมสูตรผสมของสีพลาสติกซอลโดยใช้เนื้อสีเป็น EVA/NR โดยศึกษาสัดส่วน เท่ากับ 90/10, 80/20 และ 70/30 โดยน้ำหนัก โดยหมึกพิมพ์มีอัตราส่วน พอลิเมอร์:DOP:ESO เท่ากับ 1:4:3 โดยน้ำหนัก
2. เตรียมสูตรผสมของสีพลาสติกซอลโดยปรับปรุงด้วยการใช้เนื้อสีเป็น EVA/ENR25 และ EVA/ENR50 โดยหมึกพิมพ์มีอัตราส่วน พอลิเมอร์:DOP:ESO เท่ากับ 1:4:3 โดยน้ำหนัก
3. เตรียมสูตรผสมของสีพลาสติกซอลโดยปรับปรุงด้วยการเติม BPO เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยงยางในปริมาณ 1 phr และ 10 phr ของปริมาณยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาสมบัติของสีพลาสติกซอลที่เตรียมได้

- ความหนืดของสีพลาสติกซอล
- ทดสอบสมบัติทางความร้อนของสีพลาสติกซอลด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter

5. ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานหลังการพิมพ์ เพื่อดูการแห้งของเนื้อหมึกพิมพ์

6. การทดสอบความทนทานของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังการสกรีนและหลังการซักล้าง

- ทดสอบเฉดสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน ASTM D-1925 (Spectrophotometer)
- ทดสอบความคมชัดของลวดลายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

7. ประเมินความพึงพอใจด้วยแบบประเมินความพึงพอใจการใช้หมึกพิมพ์พลาสติกซอลในงานพิมพ์สกรีน โดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง และนักศึกษา สาขาภาพพิมพ์ วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเตรียมหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่มีการยึดติดและมีความทนทานหลังการซักล้างที่ดี และมีค่าที่ใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เกรดการค้าในปัจจุบัน โดยมีเนื้อสีหลักเป็น EVA/NR และ EVA/ENR โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ต่ำกว่า (75-90°C) และสามารถลดอัตราส่วนของพลาสติกไซเซออร์ต่อเนื้อพอลิเมอร์ลงได้ และลดปริมาณ DOP ที่ใช้ในการเตรียมสูตรหมึกพิมพ์โดยการใช้ ESO เป็นพลาสติกไซเซออร์ร่วมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพิมพ์สกรีน

การพิมพ์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์โดยกดปาดสีหรือหมึกพิมพ์ผ่านผ้าสกรีนที่ซึ่งตั้งบนกรอบที่ทำขึ้นโดยปิดและเปิดบริเวณรูผ้าสกรีนให้มีลายภาพตามความต้องการ การพิมพ์สกรีนสามารถพิมพ์ได้กับวัสดุหลายชนิด เช่น ผ้า กระดาษ พลาสติก กระจก กระจกเบี่ยง เซรามิก และโลหะ เป็นต้น และสามารถพิมพ์บนวัสดุที่มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น แผ่นราบ ทรงกลม และทรงกระบอก เป็นต้น ระบบการพิมพ์สกรีนมีบทบาทต่ออุตสาหกรรมการพิมพ์ และวงการศึกษา เช่น ใช้พิมพ์สินค้าให้มีความสวยงาม น่าใช้ พิมพ์ป้าย งานสื่อโฆษณา-ประชาสัมพันธ์ บรรจุภัณฑ์ ตลอดจนสื่อการเรียนการสอนต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้การพิมพ์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์ที่ใช้ทุนน้อยโดยใช้วัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้เพียงไม่กี่ชนิด กระบวนการพิมพ์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์ที่มีขั้นตอนการทำงานที่เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน โดยการพิมพ์สกรีนจะต้องสร้างแม่พิมพ์ด้วยกาวอัด ซึ่งมีองค์ประกอบในการพิมพ์สกรีนที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1 องค์ประกอบในการสร้างระบบพิมพ์สกรีนด้วยกาวอัด [1]

การสร้างแม่พิมพ์ด้วยกาวอัดเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากให้ภาพหรืองานพิมพ์ที่มีรายละเอียดเหมือนต้นฉบับ เหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการความคมชัดหรือลายภาพที่มีความละเอียดสูง และงานพิมพ์ที่ต้องการขึ้นงานจำนวนมาก ๆ เพราะแม่พิมพ์มีความคงทนต่อแรงเสียดสีได้ดี การสร้างแม่พิมพ์ด้วยกาวอัดแบบถ่ายด้วยแสงต้องใช้ความละเอียดอ่อนเป็นพิเศษ และทำการฝึกฝนเพื่อให้เกิดความชำนาญจึงทำให้ผลิตผลงานพิมพ์ออกมาได้คุณภาพและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอุปกรณ์ในการสร้างแม่พิมพ์กาวอัด (รูปที่ 2.1) มีดังต่อไปนี้

2.1.1.1 กรอบสกรีน

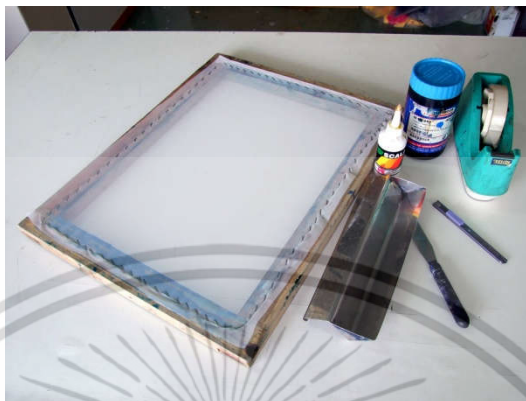
กรอบสกรีน (Frame) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการกำหนดขนาดของแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับลายพิมพ์ และช่วยยึดผ้าสกรีนให้มีความตึงเท่ากันทั้ง 4 ด้าน กรอบสกรีนควรมีความแข็งแรง และต้องไม่บิดงอได้ง่ายเมื่อถูกน้ำหรือความร้อน มีน้ำหนักเบา ทนต่อแรงดึงหลังจากขึงผ้าสกรีน และทนต่อสารเคมีที่ใช้ในงานพิมพ์ โดยกรอบสกรีนที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 ประเภท คือ กรอบไม้และกรอบโลหะ (อลูมิเนียม) นอกจากนี้รูปทรงของกรอบสกรีนสามารถเปลี่ยนให้เข้ากับรูปทรงของวัสดุที่ต้องการพิมพ์ได้ เช่น ทรงกระบอก ทรงโค้งเว้า เป็นต้น

2.1.1.2 ผ้าสกรีน

ผ้าสกรีน (Screen Fabric) เป็นวัสดุที่สำคัญของการพิมพ์สกรีน มีหน้าที่เป็นโครงสร้างในการสร้างภาพบนสกรีนหรือช่วยยึดกาวอัดและแผ่นฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่ใช้สร้างภาพบนสกรีนเกิดเป็นลายภาพที่ต้องการ ผ้าสกรีนสามารถผลิตขึ้นจากวัสดุได้หลายประเภท เช่น ขนสัตว์ เส้นใยสังเคราะห์ (เส้นใยสังเคราะห์ไนลอน และเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์) และเส้นใยโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ผู้อื่นใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เส้นใยสแตนเลส) ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้ผ้าสกรีนให้เหมาะสมกับงานพิมพ์ โดยทั่วไปพิจารณาจาก ลักษณะชิ้นงานหรือวัสดุพิมพ์ที่พิมพ์ ภาพต้นฉบับหรือลวดลายที่ต้องการพิมพ์ ความหนาหรือความละเอียดของผ้าสกรีน และประเภทของหมึกพิมพ์ที่ใช้พิมพ์



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ในการปฏิบัติการถ่ายด้วยกาวอัด

2.1.1.3 กาวอัด

กาวอัดเป็นเคมีภัณฑ์ที่นำมาใช้ทำให้เกิดลวดลายบนผ้าสกรีนโดยใช้งานร่วมกับน้ำยาไวแสงเพื่อให้เกิดการยึดติดอยู่บนผ้าสกรีน ซึ่งกาวอัดถูกใช้ในกรณีที่มีการสร้างแม่พิมพ์ด้วยการใช้แสง โดยงานพิมพ์สกรีนมีวิธีการสร้างแม่พิมพ์ 2 วิธี คือ การสร้างแม่พิมพ์โดยใช้ฟิล์มตัด (The Knife-Cut Technique) เช่น ฟิล์มตัดที่ติดด้วยน้ำ และฟิล์มตัดที่ติดด้วยน้ำมัน เป็นต้น และการสร้างแม่พิมพ์โดยใช้แสงถ่าย (Photochemical Technique) ในการสร้างแม่พิมพ์ด้วยวิธีการใช้แสงถ่ายนั้น สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

1. การสร้างแม่พิมพ์ด้วยกาวอัดชนิดต่าง ๆ เช่น แม่พิมพ์จากกาวอัดชนิดไดโครเมต แม่พิมพ์จากกาวอัดชนิดไดเอโซ และแม่พิมพ์จากกาวอัดชนิดพอลิเมอร์แบบผสมสำเร็จ
2. การสร้างแม่พิมพ์ด้วยฟิล์มถ่ายแบบต่าง ๆ ได้แก่ แม่พิมพ์จากฟิล์มถ่ายม่วงและแม่พิมพ์จากฟิล์มถ่ายไฟสตาร์ เป็นต้น

การเลือกใช้กาวอัดในแต่ละชนิดควรศึกษาสมบัติเฉพาะของเนื้อกาวอัด และความเหมาะสมกับการใช้หมึกพิมพ์เพื่อความสมบูรณ์และคมชัดของชิ้นงาน ตัวอย่างของกาวอัดทางการค้าที่มีใช้ในปัจจุบัน เช่น

กาวอัดชนิดไดโครเมต เนื้อกาวอัดเป็นสีชมพู เนื้อกาวมีความละเอียด ใช้เวลาในการถ่ายด้วยแสงน้อยเหมาะสำหรับงานพิมพ์กราฟฟิกที่เน้นความคมชัด และเก็บรายละเอียดได้ดี มีความคงทนต่อหมึกพิมพ์ใช้น้ำมันประเภทแห้งซาดรูไลท์ (Drulite Ink) และประเภทแห้งเร็ว (สีที่มีส่วนประกอบของ PVC) หากเคลือบด้วยน้ำยาแพทลี่ (Patly) จะคงทนต่อหมึกใช้น้ำ กาวอัดชนิดนี้ใช้ผสมกับน้ำยาไวแสงชนิดไดโครเมต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาวอัดชนิดไดอะโซฟอสต์ เนื้อกาวอัดเป็นสีฟ้าอ่อนสามารถจัดวางตำแหน่งภาพได้ง่าย เนื้อกาวมีความละเอียดเหมาะสำหรับการพิมพ์กราฟฟิกที่เน้นความคมชัดและมีความคงทนต่อหมึกพิมพ์เชื่อน้ำและเชื่อน้ำมัน หมึกพิมพ์เชื้อพลาสติกซอล หรือหมึกพิมพ์ยูวี เนื้อกาวมีความคงทนต่อแรงเสียดสีได้ดี กาวอัดชนิดนี้ใช้ผสมกับน้ำยาไวแสงชนิดไดเอโซ

กาวอัดชนิดไดเอโซ เนื้อกาวอัดเป็นสีม่วงอ่อน สีของกาวอัดในกรอบสกรีนที่แห้งแล้วมีความใสสามารถมองเห็นได้ง่าย ทำให้จัดตำแหน่งแบบถ่ายได้ง่ายเนื้อกาวอัดมีความละเอียดเหมาะสำหรับงานพิมพ์ผ้าทุกชนิด ทั้งผ้ายัด ผ้าฝ้าย และผ้าหลา หรือชิ้นงานที่ต้องการความคมชัดเป็นพิเศษ สามารถเก็บรายละเอียดของแบบภาพได้ดี มีความทนทานต่อหมึกพิมพ์เชื่อน้ำเป็นพิเศษ กาวอัดใช้ผสมกับน้ำยาไวแสงชนิดไดเอโซ

กาวอัดประเภทโฟโต้พอลิเมอร์ชนิดผสมเสร็จ เป็นเนื้อกาวอัดแบบชนิดผสมน้ำยาไวแสงสำเร็จรูป เนื้อกาวเมื่อแห้งมีสีอ่อน เนื้อกาวมีความเข้มข้นสูงเหมาะสำหรับใช้กับงานพิมพ์คุณภาพสูงในงานอุตสาหกรรมหรืองานพิมพ์ที่ต้องการให้หมึกลงหนาเป็นพิเศษ ให้ความคมชัดได้ดี เนื้อกาวทนทานต่อหมึกพิมพ์ มีราคาแพง

ในการสร้างแม่พิมพ์จากกาวอัด (รูปที่ 2.2) ด้วยวิธีถ่ายด้วยแสง (Direct Photostencil) เป็นการสร้างแม่พิมพ์บนผ้าสกรีนโดยตรงด้วยการนำกาวอัดผสมกับน้ำยาไวแสงในอัตราส่วนที่กำหนด แล้วเคลือบบนผ้าสกรีนจากนั้นอบให้แห้งในห้องที่ควบคุมแสงแล้วติดฟิล์มหรือแบบถ่ายที่ต้องการบนด้านที่สัมผัสชิ้นงาน (Print Side) จากนั้นนำไปถ่ายด้วยแสงโดยใช้เวลาที่เหมาะสม แล้วจึงนำไปล้างน้ำเพื่อเก็บลายภาพ จากนั้นทำให้แห้ง เมื่อเนื้อกาวแห้งจะมีลักษณะคล้ายฟิล์มที่มีสมบัติพิเศษที่สามารถทนต่อหมึกพิมพ์ แรงเสียดสีของการปาดหมึกพิมพ์ และทนต่อการชะล้างได้ดี



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแม่พิมพ์กาวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 น้ำยาเคลือบแพทลี

น้ำยาเคลือบแพทลีใช้กับแม่พิมพ์สกรีนเพื่อเคลือบกาวอัดทุกชนิดเมื่อแห้งแล้ว มีสมบัติทำให้กาวอัดทนต่อน้ำ เมื่อเคลือบแล้วทำให้แม่พิมพ์สกรีนมีความทนทานต่อหมึกพิมพ์เชื่อน้ำเพิ่มมากขึ้น น้ำยามีฤทธิ์เป็นกรดจึงควรใช้กับผ้าสกรีนที่เป็นพอลิเอสเตอร์

2.2. ระบบการพิมพ์สกรีน [2]

การพิมพ์สกรีนในสมัยก่อนใช้แรงงานคนทั้งหมดทุกขั้นตอน ตั้งแต่การผลิตแม่พิมพ์สกรีนจนกระทั่งเสร็จสิ้นขั้นตอนการพิมพ์ซึ่งเป็นการพิมพ์ด้วยมือ ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องจักรกลมาใช้ในการพิมพ์สกรีน เนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานการพิมพ์ที่ดี และต้องการความรวดเร็ว การพิมพ์สกรีนสามารถแบ่งได้ตามระบบการพิมพ์เป็น 3 แบบ ได้แก่

2.2.1 ระบบการพิมพ์แบบพิมพ์ด้วยมือ

ระบบการพิมพ์ที่ใช้มือในการสกรีน (Manual Screen Printing) กลไกในการทำงานของเครื่องมือมีความซับซ้อนน้อยที่สุด โดยเครื่องมือมีส่วนประกอบเพียงส่วนเดียว คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการพิมพ์ ขั้นตอนการใช้งานของเครื่องเริ่มต้นจากการติดตั้งแม่พิมพ์สกรีน จากนั้นนำชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์วางบนตำแหน่งที่ทำฉากไว้ และเริ่มพิมพ์ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจำเป็นต้องให้ผู้พิมพ์หรือใช้แรงงานคนเป็นผู้ปฏิบัติงานทั้งหมด ระบบการพิมพ์แบบนี้ราคาไม่สูงมาก และส่วนใหญ่ใช้สำหรับพิมพ์วัสดุที่เป็นแผ่นเรียบเท่านั้น

2.2.2 ระบบการพิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติ

ระบบการพิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Screen Printing) ระบบนี้บางส่วนเป็นกลไกอัตโนมัติ โดยเฉพาะในส่วนของการพิมพ์ที่เครื่องพิมพ์ชิ้นงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องอาจติดตั้งส่วนรับการพิมพ์แบบอัตโนมัติ แต่ในส่วนของการป้อนชิ้นงานยังอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก เครื่องพิมพ์แบบนี้สามารถพิมพ์ได้ทั้งวัสดุที่มีรูปทรงแบนราบและรูปทรงอื่น ๆ และเนื่องจากขั้นตอนในการพิมพ์เป็นแบบอัตโนมัติซึ่งมีการตั้งค่าการพิมพ์ที่คงที่ ทำให้คุณภาพการพิมพ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันมากกว่าเครื่องพิมพ์แบบพิมพ์ด้วยมือ

2.2.3 ระบบการพิมพ์แบบอัตโนมัติ

ระบบการพิมพ์แบบอัตโนมัติ (Automatic Screen Printing) การพิมพ์สกรีนแบบนี้มีกลไกการทำงานของเครื่องพิมพ์ทุกขั้นตอนเป็นแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่การป้อนชิ้นงาน พิมพ์ และรับชิ้นงาน ทำให้สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้เร็วกว่าเครื่องพิมพ์แบบพิมพ์ด้วยมือและกึ่งอัตโนมัติ ส่วนที่แตกต่างจากเครื่องพิมพ์อีกสองประเภทคือ ส่วนป้อนการพิมพ์ที่เป็นแบบอัตโนมัติ ดังนั้นการพิมพ์อาศัยแรงงานคนเฉพาะในการตรวจสอบผลงานพิมพ์ ตรวจสอบเครื่องเมื่อมีปัญหาและดูแลรักษาเท่านั้น ความสามารถของเครื่องพิมพ์อัตโนมัติสามารถพิมพ์ได้ทั้งวัสดุที่มีรูปทรงแบนราบและรูปทรงต่าง ๆ เช่น ทรงรี ทรงโค้ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามเครื่องพิมพ์แบบอัตโนมัติมีข้อจำกัดในส่วนการป้อนชิ้นงานทำให้ส่วน

เอกสารนี้ใหญ่ผลิตมาสำหรับชิ้นงานที่เป็นทรงแบนราบที่มีความหนาไม่มากนักให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หมึกพิมพ์ [1]

หมึกพิมพ์ (Based Ink) เป็นส่วนสำคัญในการพิมพ์ทุกระบบ ซึ่งหมึกพิมพ์สกรีนมีความเข้มข้นและความละเอียดสูงเป็นพิเศษ มีหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมกับการพิมพ์กับวัสดุต่าง ๆ เช่น ไม้ กระดาษ ผ้า โลหะ พลาสติก กระจกหรือแผ่นวงจรไฟฟ้า ฯลฯ ดังนั้นผู้พิมพ์ต้องเลือกใช้หมึกพิมพ์ให้เหมาะสมกับชนิดหรือประเภทของวัสดุของชิ้นงาน การจำแนกตามชนิดและสมบัติได้ 4 ประเภท ดังนี้

2.3.1 หมึกพิมพ์เชื่อน้ำ

หมึกพิมพ์เชื่อน้ำ (Water-Based Ink) เป็นหมึกพิมพ์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายให้หมึกอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว หมึกพิมพ์เชื่อน้ำมีสมบัติของเนื้อหมึกพิมพ์และเฉดสีที่แตกต่างกันออกไป เนื้อหมึกพิมพ์แห้งได้โดยการระเหยของน้ำ หากเนื้อหมึกพิมพ์มีความเข้มข้นมากเกินไปให้ผสมด้วยน้ำยาผสมสี (Softy) หมึกพิมพ์เชื่อน้ำเหมาะสำหรับการพิมพ์บนวัสดุบางประเภทเท่านั้น เช่น กระดาษ ผ้า และพลาสติกประเภท PVC โดยสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำสะอาด การใช้งานหมึกพิมพ์เชื่อน้ำแบ่งตามประเภทสีที่ใช้ ดังนี้

สีธรรมดา (สีจม) ใช้สำหรับการพิมพ์ผ้าสีขาวหรือสีอ่อนและใช้พิมพ์บนกระดาษบางชนิดได้ เนื้อหมึกพิมพ์จมลงในเนื้อผ้า ทำให้เกิดความนุ่มนวลต่อการสัมผัสและทนทานต่อการซักล้าง

สีลอย ใช้สำหรับการพิมพ์ผ้าสีดำหรือสีเข้ม ซึ่งมีเส้นฝ้ายผสมได้ดี เมื่อหมึกพิมพ์แห้งลอยเด่น มีความสดของสี

สียาง ใช้สำหรับการพิมพ์ผ้าสีอ่อนและสีเข้ม เมื่อหมึกพิมพ์แห้งมีลักษณะเป็นยาง สนิมเงา และยืดได้ เนื้อหมึกพิมพ์มีความเข้มข้นมีทั้งชนิดทึบแสงและโปร่งใส

สีสะท้อนแสง ใช้สำหรับการพิมพ์ผ้าสีอ่อนและสีเข้ม เนื้อหมึกพิมพ์มีความพิเศษ คือ มีความสดและสีสว่าง

สีนูน ใช้สำหรับการพิมพ์ผ้าฝ้าย (Cotton) เมื่อหมึกพิมพ์แห้งนำไปผ่านความร้อนทำให้เนื้อหมึกฟูขึ้นมา

สีพิมพ์ผ้ามัน ใช้สำหรับการพิมพ์ผ้ามันทุกชนิด มีทั้งแบบธรรมดา และสีลอย เนื้อหมึกพิมพ์มีความสดและมีความยืดหยุ่น

2.3.2 หมึกพิมพ์เชื่อน้ำมัน

หมึกพิมพ์เชื่อน้ำมัน (Solvent-Based Ink) เป็นหมึกพิมพ์ที่ต้องอาศัยน้ำมันเป็นตัวทำละลาย โดยหมึกมีลักษณะเป็นของเหลวมีความข้นคล้ายกับหมึกพิมพ์เชื่อน้ำ ต่างกันที่ตัวทำละลายเป็นน้ำมัน แทนน้ำ และต้องใช้น้ำมันในการล้างหมึกพิมพ์ มีทั้งชนิดแห้งเร็วและแห้งช้า เหมาะสำหรับใช้พิมพ์กระดาษ ไม้ เหล็ก แก้ว และผ้า แต่เนื้อหมึกพิมพ์มีกลิ่นเหม็นจากน้ำมันที่ใช้เป็นตัวทำละลาย และน้ำมันที่ใช้ล้าง โดยแยกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

หมึกพิมพ์ดูไลท์ (Dulite Ink) เป็นหมึกพิมพ์แห้งช้า ต้องผสมน้ำมันเฉพาหรือน้ำมันสนในการล้างทำความสะอาดใช้สำหรับงานพิมพ์โลหะ ไม้ กระจก กระดาษ และพลาสติกบางประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมึกพิมพ์ชนิดนี้เหมาะกับงานพิมพ์ที่ต้องการให้หมึกพิมพ์นูน เช่น นามบัตร การ์ด ทั้งนี้ควรใช้ฟิล์มม้วน

หมึกพิมพ์พีวีซี (PVC Ink) เป็นหมึกพิมพ์ที่แห้งเร็ว ต้องใช้น้ำมันผสมเพื่อให้แห้งช้าและใช้น้ำมันล้างหมึกพิมพ์ เนื้อหมึกพิมพ์มีทั้งแบบโปร่งแสงและทึบแสง เหมาะสำหรับการพิมพ์บนกระดาษพลาสติก อะคริลิก สติกเกอร์ หนังเทียม และฉลากผลิตภัณฑ์บนขวดพลาสติก เป็นต้น

2.3.3 หมึกพิมพ์ยูวี

หมึกพิมพ์ยูวี (UV-Based Ink) เป็นหมึกพิมพ์ที่ต้องได้รับแสงยูวี โดยการใช้เครื่องอบ ฉายลงบนชั้นฟิล์มของหมึกหลังจากที่พิมพ์ลงวัสดุเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ดังนั้นการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ยูวีสามารถแห้งตัวได้เร็ว ใช้กับงานพิมพ์ที่มีคุณภาพสูงในระบบอุตสาหกรรม

2.3.4 หมึกพิมพ์พลาสติกซอล

หมึกพิมพ์พลาสติกซอล (Plastisol Ink) เป็นหมึกพิมพ์ประเภทพอลิเมอร์ที่มีสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เป็นองค์ประกอบหลัก มีทั้งหมึกพิมพ์แบบธรรมดาและสีลอย เหมาะสำหรับการพิมพ์ลงบนผ้าทุกประเภท และผ้าสังเคราะห์พิเศษ เนื้อหมึกไม่สามารถแห้งเองได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ทำให้แห้งได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 155-180°C มีทั้งแบบ 1 สี, หลากสีและการพิมพ์ชุดสอดสี (Color Process) เนื้อหมึกพิมพ์สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำมันสน จากสมบัติพิเศษของหมึกพิมพ์ทำให้ต้องมีอุปกรณ์อื่นเสริมในการทำงาน เนื้อหมึกพิมพ์ราคาแพง เป็นที่นิยมใช้กับงานพิมพ์ระบบอุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพของชิ้นงานสูงและมีรายละเอียดมาก ตัวอย่างหมึกพิมพ์พลาสติกซอลดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หมึกพิมพ์พลาสติกซอล [18]

2.4 หมึกพิมพ์พลาสติกซอลในอุตสาหกรรม [2]

หมึกพิมพ์พลาสติกซอลเป็นหมึกพิมพ์ที่ใช้สารพลาสติกไซเซอร์ เป็นตัวกลางช่วยในการกระจายตัวของเรซินและผงสีในรูปแบบสารแขวนลอย โดยหมึกพิมพ์พลาสติกซอลเป็นหมึกพิมพ์ที่เตรียมจากเรซินประเภทไวนิล เช่น PVC ผสมกับพลาสติกไซเซอร์ โดยทั่วไปใช้ในการพิมพ์ผ้าฝ้ายหรือผ้าฝ้ายผสมเอกลีเอสเทอร์ โดยที่แม่พิมพ์สกรีนต้องทำจากกาวอัดที่ทนต่อน้ำมันทุกประเภท ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่กว้างนัก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

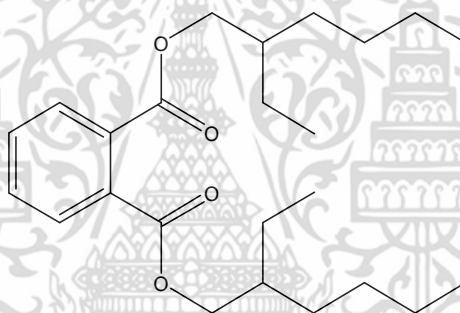
2.4.1 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล

2.4.1.1 สารยืดผงสีหรือเนื้อหมึกพิมพ์

เนื้อหมึกพิมพ์ที่นำมาใช้ในการผลิตหมึกพิมพ์พลาสติกซอล คือ เรซิน PVC สามารถบดให้ละเอียดจนขนาดอนุภาคเล็กถึง 0.5-2.0 ไมครอน ซึ่งเป็นระดับที่อนุภาคกระจายได้ดี ทำให้หมึกพิมพ์สำเร็จรูปที่ผลิตออกมามีเนื้อละเอียดมาก ความละเอียดของเรซินเมื่อรวมกับผงสีแล้วทำให้ได้หมึกพิมพ์ที่มีเนื้อละเอียดสามารถพิมพ์ผ่านผ้าสกรีนที่มีความละเอียดขนาด 165 เส้นต่อเซนติเมตร เนื้อหมึกไม่สามารถแห้งเองได้ที่อุณหภูมิห้องต้องให้ความร้อนที่ 155-180°C เพื่อทำให้เกิดการเซตตัว

2.4.1.2 ตัวกลาง

สารพลาสติกไซเซอร์เป็นสารเคมีซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลาง สารพลาสติกไซเซอร์เป็นตัวกำหนดความยืดหยุ่น ความแข็งกระด้าง ความเงา และจุดแข็งตัวสมบูรณ์ของหมึกพิมพ์ โดยพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้กับเรซิน PVC คือ ไดออกทิลพทาเลต หรือ ได-2-เอทิลเฮกซิลพทาเลต (Diocetyl Phthalate, Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate, DOP) โครงสร้างดังรูปที่ 2.4 และมีสมบัติดังนี้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ DOP [19]

สมบัติของ DOP

- ลักษณะเป็นของเหลวเหนียวใส
- มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) อยู่ในช่วง 0.978-0.990
- ความหนืด 78 mPa.sec
- จุดหลอมเหลว -55 ถึง -46°C
- จุดวาบไฟ 219°C
- จุดเดือด 340°C

2.4.1.3 สารให้สี

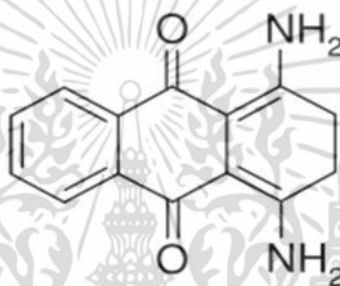
สารให้สีที่ใช้ในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสำหรับพิมพ์ผ้าต่างจากสารให้สีที่ใช้ในหมึกพิมพ์ผ้าฐานน้ำทั่วไป ดังนั้นการเลือกใช้สารให้สีในการผลิตหมึกพิมพ์ ต้องเลือกให้มีสมบัติที่เข้ากับประเภทของสารที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยสารให้สีที่ผสมทำให้มีความทึบแสง หรือโปร่งแสง

ความมันวาวตามความต้องการ ซึ่งสารให้สีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด [21] คือ

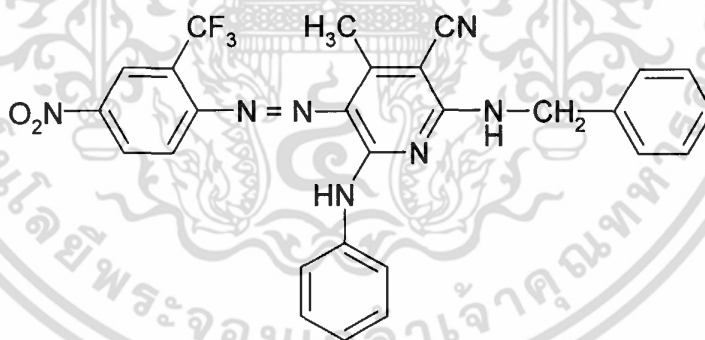
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3.1 สีย้อม

สีย้อม (Dyes) เป็นสารอินทรีย์ อาจเป็นแบบสังเคราะห์ หรือแบบธรรมชาติ สีย้อมเมื่อผสมลงในพลาสติกทำให้พลาสติกมีสีโปร่งใส สีย้อมมีโครงสร้างซับซ้อนแต่ละลายในสารประกอบอินทรีย์หรือเรซิน ใช้กับพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูง เช่น พอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาคริเลต และ PVC ที่ไม่ผสมสารเพิ่มเสถียรสภาพ สีย้อมมีความโปร่งใสหรือให้ความใสมากกว่ารงควัตถุสีอินทรีย์ หรือรงควัตถุสีอนินทรีย์อื่น ๆ แต่ไม่ทนต่อความร้อนและแสง โดยทั่วไปสีย้อมมีโครงสร้างของ Anthraquinone (รูปที่ 2.5) และ Azo (รูปที่ 2.6) เป็นพื้นฐาน แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้สีย้อมกับพอลิเมอร์ คือ เกิดกลไกเคลื่อนย้าย (Migration) ทำให้เห็นสีเคลื่อนออกจากพอลิเมอร์มาอยู่ที่ผิวของชิ้นงาน (Bleeding)



รูปที่ 2.5 โครงสร้าง Anthraquinone Dyes (Violet) [22]



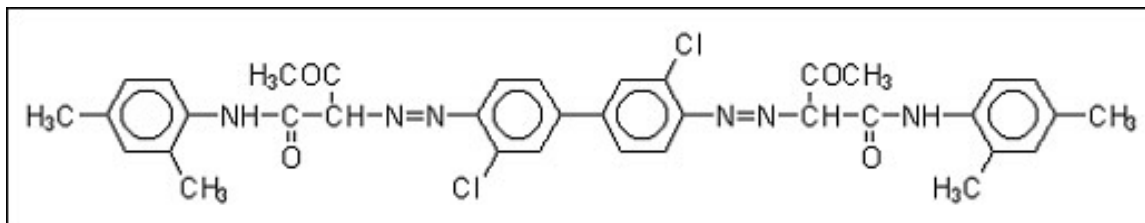
รูปที่ 2.6 โครงสร้าง Azo Dyes [23]

2.4.1.3.2 รงควัตถุหรือสีผง

รงควัตถุสีอินทรีย์ (Organic Pigment) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสี อาจเป็นสารธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ ไม่ละลายในตัวกลางหรือเรซินแต่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเรซิน (มีขนาด 0.01-1.00 ไมครอน) เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลมาก จึงมักก่อให้เกิดปัญหาสีตกหรือหลุดออกจากผลิตภัณฑ์ขณะใช้ รงควัตถุสีอินทรีย์ให้สีโปร่งแสงและโปร่งใสแต่ไม่เท่าความสดที่ได้จากสีย้อม มีความเสถียรต่อความร้อนที่ดีกว่าสีย้อม มีโครงสร้างหลายแบบทั้งที่เป็น Azo, Nonazo,

Polycyclic และ Heterocyclic ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสี Azo แสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีโคโนมิคส์ จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้าง Azo Pigment (Yellow) [24]

รงควัตถุสีอนินทรีย์ (Inorganic Pigment) จัดเป็นสารที่ไม่ละลายทั้งในตัวกลางและในเนื้อพลาสติก มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน จัดเป็นสารประกอบโลหะที่มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวน้อย ความหนาแน่นสูงกว่ารงควัตถุสีอินทรีย์ สามารถเกิดการกระเจิงของแสงจึงทำให้มีความทึบแสง ความแรงในการผสมสีขาวจึงต่ำ จึงให้สีออกเป็นสีทึบ สีที่ได้จากประเภทนี้ไม่สดใส แต่มีความเสถียรต่อความร้อนและแสงดีกว่ารงควัตถุสีอินทรีย์ ตัวอย่างรงควัตถุสีอนินทรีย์ เช่น เขม่าดำ เหล็กออกไซด์ โคบอลต์อัลูมินา ไทเทเนียมไดออกไซด์ และแคดเมียมซัลไฟด์ เป็นต้น

ผงสีชนิดพิเศษ (Special-Effect Pigment) เป็นสารให้สีที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จัดเป็นสีที่ทนทานต่อความร้อนและแสง จึงมักใช้กับงานตกแต่งภายนอก เช่น ผงละเอียดของแก้วสีต่าง ๆ ผงโลหะ เช่น อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดงหรือทอง อาจผสมลงในสีที่ใช้กับรถยนต์เพื่อให้เกิดการสะท้อนและดึงดูดความสนใจ โดยวัสดุเหล่านี้เมื่อได้รับพลังงานพลังงานบางส่วนถูกปล่อยออกมาในรูปแสงเรียกว่าเกิดการเรืองแสง (Luminescence) วัสดุที่เรืองแสงได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Fluorescence และ Phosphorescence สีบางชนิดสะท้อนแสงได้เรียกว่าสีสะท้อนแสง (Fluorescent Paint) ให้แสงต่อเมื่ออิเล็กทรอนิกส์ได้รับการกระตุ้นเท่านั้น ซึ่งมีส่วนผสมของซัลไฟด์ของสังกะสี แคลเซียม และแมกนีเซียม สีเหล่านี้ทาบนหน้าปัดเครื่องมือหรืออุปกรณ์ช่วยให้มองเห็นแม้ว่ามีแสงน้อยมาก ใช้ผสมในหมวกกันน็อก ถุงมือ เสื้อชูชีพและเครื่องหมายจราจรบนถนน สีอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Phosphorescent Paint สามารถให้แสงอยู่ระยะเวลาหนึ่งหลังจากได้รับการกระตุ้น ตัวอย่างเช่น หลอดภาพในโทรทัศน์ กระแสไฟฟ้ากระตุ้นวัสดุที่เคลือบฟอสฟอเรสเซนต์ที่อยู่ด้านในของหลอด วัสดุเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปแสง สีฟอสฟอเรสเซนต์ที่ใช้กับพลาสติกเป็นสารประเภทซิลิเกต โดยถ้ามีซิงค์ซัลไฟด์อยู่จะมีสีเขียว ถ้ามีซิงค์ซัลไฟด์ผสมกับแคดเมียม แคลเซียม และสตรอนเตียมจะให้สีน้ำเงิน

2.4.1.4 สารเติมแต่ง

สารเติมแต่งในหมึกพิมพ์พลาสติกชนิดซิลิโคนมีการเลือกใช้เพียงเล็กน้อยตามความเหมาะสม เพื่อให้หมึกพิมพ์มีสมบัติตามที่ต้องการ เช่น สารทำให้นุ่ม (Softeners), สารให้ฟอง (Blowing Agent), สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Heat Stabilizer), สารตัวเติม (Filler) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สมบัติทั่วไปของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล [2]

- หมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีการแห้งตัวที่ช้า ไม่แห้งตัวในสภาวะอุณหภูมิห้องซึ่งช่วยทำให้แม่พิมพ์สกรีนไม่เกิดการอุดตัน ช่วยให้การพิมพ์ง่ายขึ้น เมื่อเลิกใช้งานไม่จำเป็นต้องเก็บหมึกขึ้นจากแม่พิมพ์สกรีน เมื่อต้องการพิมพ์ใหม่สามารถนำมาพิมพ์ได้ทันทีโดยไม่ต้องเทหมึกลงในแม่พิมพ์สกรีนใหม่ทำให้ประหยัดเวลาในการเตรียมงาน

- ความละเอียดของหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ จากการใช้อุณหภูมิของหมึกพิมพ์ที่มีความละเอียดมาก (< 10 ไมครอน) ทำให้สามารถพิมพ์ด้วยผ้าสกรีนที่มีความละเอียดสูง เช่น เบอร์ 165 เส้นต่อเซนติเมตร หรือผ้าสกรีนของญี่ปุ่น เบอร์ 355 เส้นต่อนิ้ว ทำให้สามารถพิมพ์งานละเอียด เช่น งานลายเส้นหรืองานเม็ดสกรีนที่ละเอียด

- หมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีสมบัติทิโคโทรปี (Thixotropy) คือ เมื่อเก็บหมึกไว้ในภาชนะบรรจุอยู่ในสภาพเกาะกันแน่น ไม่มีการไหลตัว หลังจากเทหมึกพลาสติกซอลลงบนแม่พิมพ์สกรีนและปาดยางปาดไปมาความหนืดของหมึกพิมพ์เริ่มลดลงเนื่องจากเกิดแรงกระทำของยางปาด หมึกไหลลงอยู่ในสภาพที่พิมพ์ได้พอดี หลังจากพิมพ์เสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้ หมึกเปลี่ยนสภาพกลับมีความหนืดสูงขึ้นอีกครั้ง โดยการพิมพ์ลายลงบนชิ้นงาน ต้องมีขนาดของเม็ดสกรีนที่ไม่ใหญ่กว่าลายที่อัดอยู่บนแม่พิมพ์สกรีน เมื่อหมึกพิมพ์ไหลผ่านรูเปิดของผ้าสกรีนแล้ว หมึกหนืดขึ้น และคงสภาพของเม็ดสกรีนได้ดี ไม่เกิดการไหลตัวต่อ

- หมึกพิมพ์พลาสติกซอลต้องผ่านการแห้งตัวโดยการอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ได้การเกาะติดที่ดี โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 155-180°C ทำให้หมึกพิมพ์มีการแห้งตัวโดยสมบูรณ์ (Complete Cure)

- หมึกพิมพ์พลาสติกซอลช่วยลดมลภาวะในอากาศ เนื่องจากหมึกมีพลาสติกไฮเซออร์เป็นตัวกลางแทนตัวทำละลายอินทรีย์จึงไม่ทำให้เกิดกลิ่นที่ทำลายสุขภาพของผู้ใช้ และเป็นมลภาวะในอากาศ

- หมึกพิมพ์พลาสติกซอลช่วยลดมลภาวะในน้ำ เนื่องจากการทำความสะอาดหมึกชนิดนี้ใช้ดื่มน้ำมันสนหรือน้ำยาชะล้างเมื่อเสร็จงาน และไม่จำเป็นต้องเก็บหมึกบ่อยครั้ง จึงไม่ต้องเช็ดถูเป็นประจำซึ่งแตกต่างจากหมึกพิมพ์ผ้าธรรมดาที่ต้องเช็ดล้างแม่พิมพ์สกรีนบ่อยครั้งเมื่อแม่พิมพ์สกรีนอุดตัน หรือต้องล้างแม่พิมพ์สกรีนทุกครั้งหลังจากเลิกใช้งานแล้วและเพื่อเก็บรักษา ซึ่งพบว่าปริมาณของน้ำเสียเป็นจำนวนมากต้องผ่านกระบวนการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่หรือการบำบัดน้ำก่อนที่จะระบายไปยังแหล่งน้ำต่าง ๆ

2.4.3 ประเภทของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล [2, 25-26]

การแบ่งตามลักษณะของเนื้อหมึกพิมพ์ สามารถแบ่งได้ 6 ประเภท ได้แก่

1. หมึกพิมพ์พลาสติกซอลประเภทเจเนซิส (Genesis, GNS) เป็นหมึกพิมพ์ที่สามารถพิมพ์ตรงบนพื้นที่พิมพ์ที่ยังไม่แห้งสนิท เป็นหมึกพิมพ์ที่มีเนื้อหมึกพิมพ์มากทำให้สามารถพิมพ์บนผ้าพื้นสีเข้มได้สีสดสวย และสามารถใช้งานกับการพิมพ์รูปลอก (Transfer Printing) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หมึกพิมพ์พลาสติกซอลประเภทเอสเอสวี-เอฟเอฟ (SSV-FF) เป็นหมึกพิมพ์ที่ได้รับการปรับปรุงพิเศษให้มีการแห้งตัวชั้นสมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลประเภทอื่น ปรับให้มีความทนทานและความยืดหยุ่นดี เหมาะกับผ้าที่ไม่สามารถทนความร้อน (หดตัวหรือย่น เมื่อได้รับความร้อนสูง) และสามารถใช้เป็นหมึกสำหรับพิมพ์บนกระดาษรูปลอก

3. หมึกพิมพ์พลาสติกซอลประเภทนูปฟ์ (Nupuff) เป็นหมึกพิมพ์พลาสติกซอลชนิดคล้ายหมึกพิมพ์ผ้า เนื้อหมึกพิมพ์นุ่มธรรมชาติแต่ไม่พองนูนจนเกินไปเมื่อได้รับความร้อนสูง เหมาะสำหรับใช้ทั้งเป็นสีรองพื้น และพิมพ์ลายเพื่อเน้นข้อความ

4. หมึกพิมพ์รูปลอกพลาสติกซอล (Plastisol Transfer-Transflex) เป็นหมึกพิมพ์ที่ใช้กระบวนการทรานสเฟอร์สำหรับพิมพ์ โดยพิมพ์หมึกพิมพ์บนกระดาษรูปลอกก่อน เมื่อสกรีนติดลงบนกระดาษรูปลอกแล้วสามารถนำไปพิมพ์บนเนื้อผ้าได้ด้วยการกดทับด้วยความร้อน ตัวหมึกพิมพ์ทำปฏิกิริยาด้วยความร้อนละลายติดซึมลงบนเนื้อผ้า

5. หมึกพิมพ์พลาสติกซอลประเภทลวดลายพิเศษ (Special-effect Plastisol) เป็นหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่สามารถผสมกับ ผงกากเพชรชนิดต่าง ๆ (Glitter, Shimmer และ Sparkle) ผงสีโลหะ (Metallic), ผงสีเรืองแสง (Phosphorescent), เจลเพิ่มเนื้อ (High Density Clear Gel), ผงหนังธรรมชาติ (Natural Suede), ผงหิน (Rock Base), สำหรับพิมพ์บนชิ้นงานให้มีลวดลายพิเศษ เช่น ประกายแวววาว สีเงิน สีนูน การพิมพ์ 3 มิติ เป็นต้น

6. หมึกพิมพ์พลาสติกซอลไร้สารพทาเลต (Phthalate-Free หรือ EPLC Plastisol) เป็นหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสำหรับพิมพ์ผลิตภัณฑ์ที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับสารพทาเลต มีสีสันให้เลือกตามเฉดสีตามมาตรฐานการเทียบสีแพนโทน (Pantone Matching System, PMS) โดยไม่ต้องผสมเฉดสีขึ้นใหม่

การแบ่งตามลักษณะของการพิมพ์ สามารถแบ่งหมึกพิมพ์พลาสติกซอลตามลักษณะของการพิมพ์ได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. การพิมพ์แบบสีเดียวหรือสีหลายสี เป็นการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีทึบ (550 Series-High Opacity และ 550 Series) ซึ่งสามารถพิมพ์ได้สีละ 1 ครั้ง โดยพิมพ์ลายภาพที่เป็นสีเดียวหรือหลายสี โทนสีของผ้าที่ใช้พิมพ์หมึกพิมพ์ แบ่งเป็น 2 โทนคือ สีเข้ม และสีอ่อน โดยผ้าสีเข้มใช้หมึกพิมพ์สีทึบ 550 Series-High Opacity และผ้าสีอ่อนใช้หมึกพิมพ์สีทึบ 550 Series

2. การพิมพ์แบบหมึกชุดสอดสี หมึกพิมพ์ต้องมีความโปร่งแสงมาก (600 Series-Process Colors) หากหมึกพิมพ์ไม่โปร่งแสง หรือโปร่งแสงไม่เพียงพอ เมื่อนำมาใช้ในการพิมพ์งานพบว่าเมื่อพิมพ์สีที่ 2 จะกลบทับหมึกพิมพ์สีแรกที่พิมพ์ไป เนื่องจากการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ประเภทนี้เป็นการพิมพ์โดยการซ้อนทับหรือเหลื่อมกันเพื่อให้เกิดการผสมผสานกันระหว่างพิมพ์

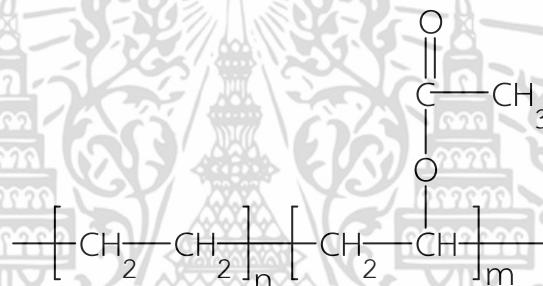
3. การพิมพ์ด้วยเทคนิคพิเศษ เป็นการพิมพ์ลงบนชิ้นงานที่ไม่สามารถพิมพ์ด้วยระบบทั่วไปได้ เช่น การพิมพ์วัสดุที่มีรูปทรง วัสดุผิวโค้ง และวัสดุผิวขรุขระ เป็นต้น

2.5 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ [27-29]

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของ EVA

เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA) เป็นเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ โดยเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง เอทิลีนกับไวนิลอะซิเตต (Vinyl Acetate, VA) มีเอทิลีนเป็นเนื้อหลักประมาณ 75-90% แล้วแต่เกรด และมีอะซิเตตเป็นตัวเสริมแต่งทำให้เกิดความยืดหยุ่น โดยลดการเกิดผลึก (Crystallinity) ของเอทิลีน โครงสร้างของ EVA ดังแสดงในรูปที่ 2.8

EVA เกิดจากการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันภายใต้ความดันสูงของเอทิลีนมอนอเมอร์และไวนิลอะซิเตตมอนอเมอร์ โดยอุณหภูมิและความดันที่ใช้ต่ำกว่ากรณีของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์เพียงอย่างเดียว ตัวริเริ่มอนุมูลอิสระที่นิยมใช้คือ Azo-Bis-Isobutyronitrile, Organic Peroxides และ Persulphates



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ EVA

2.5.2 สมบัติของ EVA

- เป็นเทอร์โมพลาสติกมีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่น
- มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) อยู่ในช่วง 0.926-0.950
- สามารถละลายได้ในสารอะโรมาติก (Aromatic) และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbon) ที่อุณหภูมิสูง
- จุดแข็งเปราะ (Brittle Point) อยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -70°C และจุดอ่อนตัว (Softening Point) อยู่ระหว่าง $60-80^{\circ}\text{C}$
- มีค่า T_g ตั้งแต่ -20°C (ของโฮโมพอลิเมอร์) จนถึง 20°C
- มีค่า Dielectric Strength เท่ากับ 21 kV/mm
- มีค่า Dielectric Constant ที่ 1 MHz เท่ากับ 2.8
- สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล มีค่าดังนี้

ค่าความแข็งกด (Hardness) Shore D

เท่ากับ 90-95

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

เท่ากับ 2.9-19.6 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดึงยืด ณ จุดขาด (Extension at Break) เท่ากับ 500-700%

- มีความสามารถในการสปริงตัวได้ดี โดยไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์
- ทนต่อสภาพการใช้งาน การซักล้าง และมีอายุการใช้งานสูง
- สามารถให้สีได้ง่ายและสวยงาม
- ขึ้นรูปได้ง่าย
- มีความยืดหยุ่น และโค้งงอได้ดีโดยไม่ต้องใช้พลาสติกไซเซออร์

2.5.3 การประยุกต์ใช้งาน

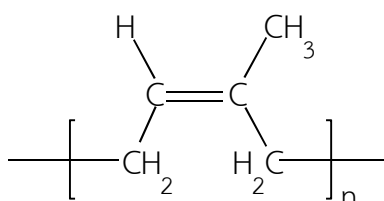
- EVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดอ่อนตัวต่ำ มักใช้เป็น Wax Additive ในงานเคลือบกระดาษ นอกจากนี้ยังเป็นสารยึดติด และพลาสติกไซเซออร์
- EVA ที่มีสมบัติคล้ายยาง มักใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ประเภทอาหาร และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์
- EVA ใช้ในงานการผลิตรองเท้า เบาะรองนั่ง
- EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตตน้อยกว่า 7% ได้ฟิล์มที่มีความเหนียว ใส มีความมันวาว

2.6 ยาง [30-31]

ยาง (Rubber) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง และเป็นวัสดุดิบที่สำคัญในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ยางที่ได้จากต้นพืชเรียกว่ายางธรรมชาติ (Natural Rubber) และยางที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีเรียกว่ายางเทียม หรือยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ยางมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ คือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อให้แรงดึงหรือกดยาง ยางยืดหรือยุบได้ และสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อปล่อยหรือคลายแรง นักอุตสาหกรรมยางจึงเรียกยางว่า อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

2.6.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-Polyisoprene) (โครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.9) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากต้นยาง ซึ่งมีมากมายหลากหลายพันธุ์โดยแต่ละพันธุ์ให้ปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำยางที่แตกต่างกัน รูปแบบของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น น้ำยางธรรมชาติ ยางแห้ง และยางธรรมชาติแปรรูป



รูปที่ 2.9 โครงสร้าง ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (Latex) มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นคล้ายนมเป็นสารแขวนลอย หรือคอลลอยด์ (Colloids) มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปมีอนุภาคยางพอลิไอโซพรีนประมาณ 30-45% มีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมันคาร์โบไฮเดรต และแร่ต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี เป็นต้น

2.6.1.2 ยางแห้ง

ยางแห้งเป็นรูปแบบการใช้ยางธรรมชาติที่นิยมที่สุด เพราะง่ายต่อการใช้งาน การขนย้าย และการเก็บรักษา น้ำยางสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปร่างแห้งได้หลายรูปแบบ ได้แก่

ยางแผ่นรมควัน เป็นยางที่ผ่านการรมด้วยควันไฟช่วยให้ยางแห้งและป้องกันเชื้อรา ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แผ่นยางมีลักษณะใส และมีสีน้ำตาลจากควันไฟ

ยางแผ่นผึ่งแห้ง เป็นยางแผ่นสีจางทำให้แห้งโดยการผึ่งแดด หรือให้ลมร้อนโดยปราศจากควันไฟ

ยางเครฟลีจาง เป็นยางที่มีสีเหลืองอ่อน เนื่องจากการขจัดรงควัตถุสีเหลืองของเบต้าแคโรทีน (β -Carotenes) ในยางด้วยสารฟอกสี (Bleaching Agents)

ยางเครฟสีน้ำตาล (Brown Crepe) เป็นยางที่ผลิตจากเศษก้อนยาง หรือเรียกว่าขี้ยาง เศษยางจะถูกทำความสะอาดและนำมาบดรวมกันจนได้ก้อนยางที่มีสีน้ำตาลสม่ำเสมอ

ยางแห้ง เป็นยางที่ทำให้น้ำยางธรรมชาติเป็นก้อน แล้วนำไปตัดย่อยเป็นเม็ดเล็ก ๆ จากนั้นนำไปอบแห้งและอัดเป็นแท่ง

2.6.1.3 ยางธรรมชาติแปรรูป

ยางธรรมชาติได้มีการนำมาแปรรูปในหลายรูปแบบเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการ และเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติแปรรูป (Modified Natural Rubber) ที่สำคัญ ได้แก่

ยางกำหนดสมบัติ (Technically Specified Rubbers, TSR) เป็นยางที่กำหนดมาตรฐานซึ่งจำแนกตามประเทศผู้ผลิต เช่น มาตรฐานประเทศมาเลเซีย (Standard Malaysian Rubber) มาตรฐานประเทศไทย (Standard Thai Rubber) และมาตรฐานประเทศอินโดนีเซีย (Standard Indonesian Rubber) เป็นต้น ทำให้สามารถผลิตยางที่มีสมบัติคงที่ เช่น ยางที่มีความหนืดคงที่ (Constant Viscosity Rubbers, CV)

ยางธรรมชาติกำจัดโปรตีน (Deproteinized Natural Rubber, DPNR) ปกติยางธรรมชาติมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณ 0.25-0.5% แต่โปรตีนอาจทำให้เกิดอาการแพ้ (Allergy) จากการสัมผัส ยางชนิดนี้เป็นยางที่กำจัดหรือลดปริมาณโปรตีนให้น้อยกว่า 0.07%

ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) เป็นยางปรับปรุงที่มีหมู่อีพอกไซด์ (Epoxide Groups) อยู่ในโครงสร้างแบบสุ่ม (Random) ทำให้ยางมีขั้วเอกสารนี้เพิ่มขึ้น หน้ำมันเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้น มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางอีเวีย-พลัสเอ็มจี (Heveaplus MG Rubber, MG) เป็นยางที่ทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับเมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate) ทำให้มีสายโซ่ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly(Methyl Methacrylate), PMMA) ต่อกิ่งอยู่บนสายโซ่พอลิโอโซพรีนของยางธรรมชาติ นิยมนำไปผลิตสารยึดติด (Adhesives) และสารหล่อชนิดแข็ง (Rigid Molding)

ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Natural Rubbers, TPNR) เป็นยางที่มีความนิ่มตัว ยืดหยุ่นได้ สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งคล้ายเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer, TPEs) โครงสร้างประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนแข็ง (Hard Segment) ทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงยึดส่วนที่อ่อน (Soft Segment) ให้ติดกัน โดยโครงสร้างส่วนที่แข็งสามารถหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน จึงทำให้สามารถขึ้นรูปใหม่ได้หลายครั้งเช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติก TPNR สามารถผลิตโดยการผสมยางธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นต้น

ยางขึ้นรูปดีเยี่ยม (Superior Processing Rubbers, SPR) เป็นยางที่ผสมสารเชื่อมโยง และถูกเชื่อมโยงบางส่วนแล้ว จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดีกว่ายางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ทั่วไป เช่น การขึ้นรูปด้วยการอัดรีด (Extrusion) ยาง SP ให้พื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่เรียบ และเกิดการบวมตัวหลังผ่านหัวตาย (Die Swell) ที่น้อย เป็นต้น

2.6.1.4 สมบัติของยางธรรมชาติ [32]

- มีความยืดหยุ่นสูง
- มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการเหนียวติดกัน
- มีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องเติมสารเสริมแรง
- มีความทนต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง
- มีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง
- มีความต้านทานต่อการขีดข่วน มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก
- ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้
- ไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม แต่ทนต่อของเหลวที่มีขี้
- ทนกรด และด่างอ่อน แต่ไม่ทนกรดและด่างเข้มข้น
- ไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และโอโซน
- อุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -55 ถึง 70°C
- มีค่า pH ประมาณ 6.5 ถึง 7.0
- ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.970 ถึง 0.980
- มีความหนืดไม่แน่นอน
- มีค่า T_g ประมาณ -65°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

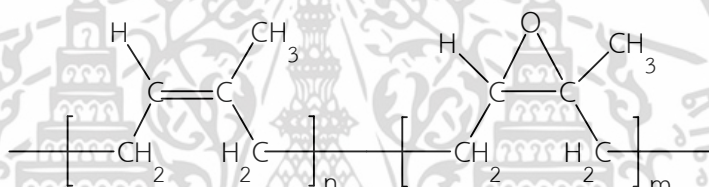
2.6.1.5 การประยุกต์ใช้งาน

ยางธรรมชาติมากกว่า 60% ถูกใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ (Tires) นอกจากนี้ยังใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ และในครัวเรือน เช่น รองเท้ายาง (Footwear) ท่อยาง (Rubber Hoses) ชิ้นส่วนรถยนต์ (Automobile Parts) สายพานลำเลียง (Conveyor Belts) โฟมยาง (Latex Foam) เป็นต้น

2.6.2 ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์

2.6.2.1 ลักษณะทั่วไปของยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์

ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์เป็นยางธรรมชาติที่ถูกแปรรูปผ่านปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชัน (Epoxidation) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide, H_2O_2) เป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ทำให้มีหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างแบบสุ่มในปริมาณที่กำหนด เช่น ENR10, ENR25 และ ENR50 คือมีหมู่อีพอกไซด์ร้อยละ 10, 25 และ 50 โดยโมล ตามลำดับ ยาง ENR ที่ได้จึงมีความเป็นขี้ผึ้งสูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป ทำให้ทนต่อความร้อนและน้ำมันได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.10 โครงสร้าง ENR [30]

2.6.2.2 สมบัติของยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์

ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างของยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์มีผลทำให้สมบัติบางประการของยางเปลี่ยนไป เช่น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ความถ่วงจำเพาะ ความมีขี้ผึ้ง เป็นต้น

- ENR25 มี $T_g = -45^\circ C$ และ ENR50 มี $T_g = -20^\circ C$
- ENR25 มีความถ่วงจำเพาะ = 0.970 และ ENR50 มีความถ่วงจำเพาะ = 1.030
- ความมีขี้ผึ้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์
- ความทนน้ำมัน (Oil Resistance) เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณหมู่อีพอกไซด์เพิ่มขึ้น
- การซึมผ่านของก๊าซ (Gas Permeability) ต่ำลง เมื่อปริมาณหมู่อีพอกไซด์เพิ่มขึ้น

2.6.2.3 การประยุกต์ใช้งาน

ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์เป็นยางที่ถูกปรับปรุงให้มีขี้ผึ้งเพิ่มมากขึ้น สามารถทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ดีขึ้น สามารถทนต่อโอโซน และการซึมผ่านของอากาศต่ำ จึงมีประโยชน์ในการใช้งานประเภทสารยึดติด รองเท้า สี ยางรถยนต์ พื้นยาง และผลิตพอลิเมอร์ผสม

(Polymer Blend) กับพอลิเมอร์ที่มีขี้ผึ้ง เช่น PVC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์เริ่มมีการค้นคว้าวิจัยในระหว่างคราโลกครั้งที่ 2 เนื่องมาจากการขาดแคลนยางธรรมชาติที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตอาวุธ และความไม่สะดวกในการคมนาคมติดต่อระหว่างประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติกับประเทศผู้ใช้ยางธรรมชาติ ราคาที่ไม่แน่นอนของยางธรรมชาติ รวมทั้งสมบัติพิเศษบางอย่างที่ยางสังเคราะห์มีแต่ยางธรรมชาติไม่มี เช่น ความทนทานต่อน้ำมันและความร้อนสูง ยางสังเคราะห์ผลิตขึ้นจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ในปัจจุบันมีการผลิตยางสังเคราะห์หลายชนิด โดยทั่วไปยางสังเคราะห์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ยางสังเคราะห์ใช้งานทั่วไป (General Purpose Synthetic Rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาในปริมาณมากเพื่อใช้แทนยางธรรมชาติ เช่น พอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ (Synthetic Polyisoprene Rubber, IR) สไตรีนบิวตะไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) บิวตะไดอีน (Butadiene Rubber) ไอโซบิวทิลีน ไอโซพรีน หรือยางบิวไทล์ (Isobutylene Isoprene Rubber, IIR or Butyl Rubber) เอทิลีน พรอพิลีน ไดอีนมอนอเมอร์ (Ethylene Propylene Diene Monomer, EPDM) เป็นต้น

2. ยางสังเคราะห์ใช้งานพิเศษ (Special Purpose Synthetic Rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาในปริมาณที่น้อยกว่ายางสังเคราะห์ใช้งานทั่วไป มีสมบัติทนทานเป็นพิเศษ เช่น ทนต่อน้ำมัน ตัวทำละลาย ความร้อน และสารเคมี เป็นต้น ได้แก่ ยางคลอโรพรีน หรือยางนีโอพรีน (Chloroprene or Neoprene Rubber, CR) อะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอีน (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR) คลอโรซัลโฟเนต พอลิเอทิลีน หรือไฮพาลอน (Chlorosulfonated Polyethylene Rubber, CSM or Hypalon) พอลิอะคริลิก (Polyacrylic Rubber, ACM) ซิลิโคน (Silicone, SI) และพอลิซัลไฟด์ หรือไทโอคอลล (Polysulphide Rubber, TR or Thiokol) เป็นต้น

2.7 การเชื่อมโยงยาง

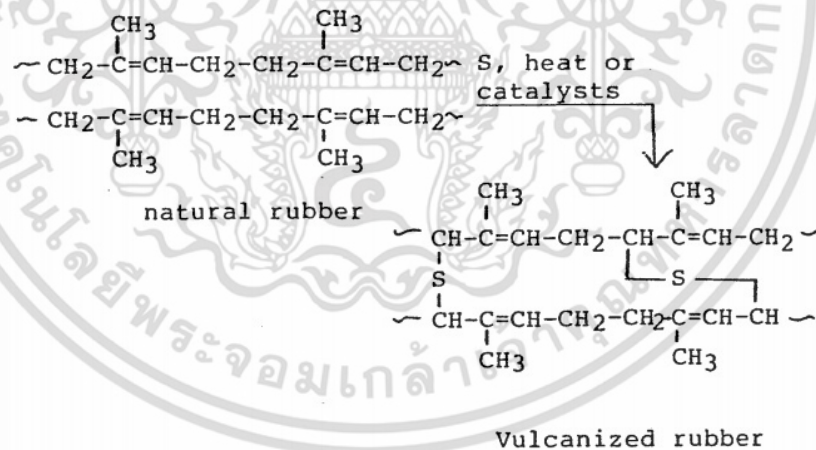
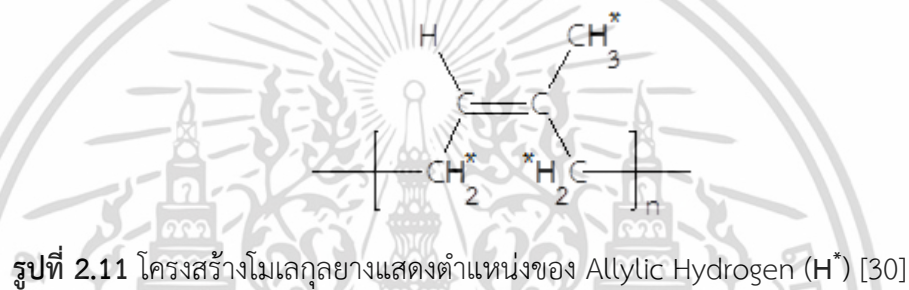
การเชื่อมโยงยาง (Rubber Vulcanization) เป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากยางที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงไม่แข็งตัว ไม่คงรูป โหลได้ เสื่อมสภาพ เหนียวติด (Sticky) ไม่สามารถรับแรงได้ และมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างมาก การเชื่อมโยงยางเป็นกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรง (Linear Chains) เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-Dimensional Network) หรือเทอร์โมเซต (Thermosets) กล่าวคือการเชื่อมโยงทำให้ยางกลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพทางรูปร่าง ไม่เหนียวติด และทนอุณหภูมิสูง การเชื่อมโยงสามารถทำได้โดยการผสมสารเคมี คือ สารเชื่อมโยง (Vulcanizing Agent) ได้แก่ กำมะถัน (Sulfur) เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) หรือสารประกอบออกไซด์ของโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ (MgO/ZnO) เป็นต้น นิยมใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activators) ควบคุมไปกับการใช้สารเชื่อมโยงเพื่อความเร็วในการเชื่อมโยงยาง

2.7.1 ระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน

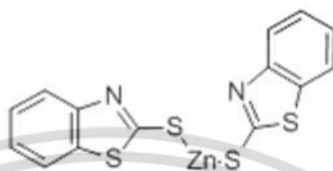
ระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (S_8) เป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะกำมะถันมีราคาถูก และยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ใช้กับยางที่ไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่จำนวนมาก เช่น ยางธรรมชาติ ยางไอโซพรีน ยางสไตรีนบิวตะไดอีน เป็นต้น แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เช่น ยางซิลิโคน ยางเอทิลีนพวอพิลีน เป็นต้น เนื่องจากกำมะถันเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ดีกับอะตอมไฮโดรเจนที่ตำแหน่งอะไลก (Allylic Hydrogen) หรือตำแหน่งคาร์บอนที่อยู่ถัดจากพันธะคู่แสดงดังรูปที่ 2.11 เพราะเป็นตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเชื่อมโยงยางด้วยกำมะถันแสดงดังรูปที่ 2.12



นอกจากนี้การเชื่อมโยงยางยังมีการใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง เวลาในการเชื่อมโยงสั้นลง การเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้ปริมาณกำมะถันน้อยลง โดยสามารถแบ่งสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

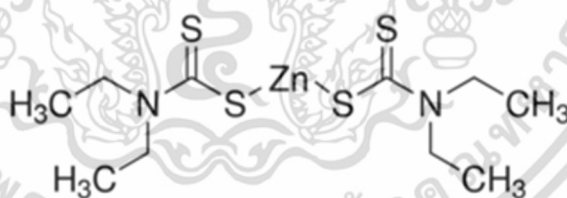
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ซัลเฟนาไมด์ (Sulfenamides) ที่นิยมใช้ เช่น N-Cyclohexyl Benzothiazole-2-Sulfenamide (CBS) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงชนิดดีเลย์แอคชัน (Delayed-Action Accelerator) ทำให้มีเวลาเพียงพอในการเชื่อมโยง นิยมใช้กับยางที่ต้องผสมหรือขึ้นรูปนาน
2. ไทเอโซล (Thiazoles) เช่น Zinc 2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากให้ Scorch time และ Cure time ที่หลากหลาย



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ Zinc 2-Mercaptobenzothiazole [34]

3. กัวนิดิน (Guanidines) ไม่นิยมใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงหลักนิยมใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงชนิดอื่น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงช้า เช่น Diphenylguanidine (DPG)
4. ไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocabamates) จัดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงเร็วยิ่งยวด (Ultra-Accelerator) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วให้ Scorch Time สั้น เช่น Zinc Diethyldithiocabamate (ZDEC) สารนี้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่รวดเร็วมากจึงไม่นิยมใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงนี้เพียงตัวเดียวปกตินิยมใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงไทเอโซลหรือซัลเฟนาไมด์ เพื่อปรับอัตราเร็วในการเชื่อมโยง

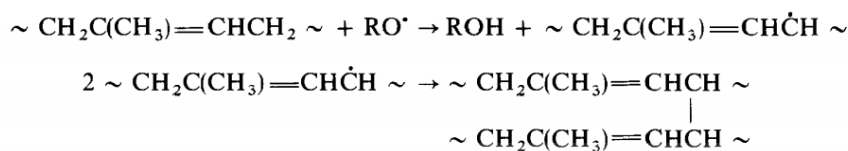
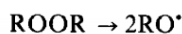


รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ Zinc Diethyldithiocabamate [35]

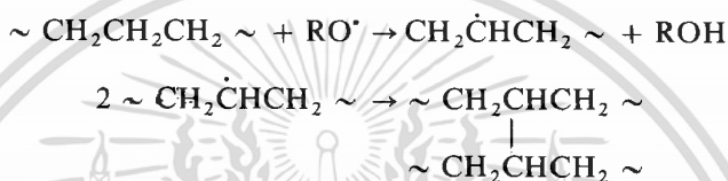
2.7.2 ระบบการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

ระบบการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์สามารถใช้ได้ดีกับยางส่วนใหญ่ (ทั้งที่มีและไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล) แต่ระบบนี้มีต้นทุนที่สูงกว่า และสมบัติของยางที่ได้มีสมบัติต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน เปอร์ออกไซด์จัดเป็นสารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย การขนย้ายและการเก็บรักษาต้องทำด้วยความระมัดระวัง ดังนั้นการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์จึงนิยมใช้กับยางที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล เช่น EVA ซิลิโคน และยางคลอริเนตพอลิเอทิลีน (CPE) เป็นต้น หรือยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำมากเท่านั้น เช่น ยางเอทิลีนพรอพิลีนไดอีน เป็นต้น สำหรับยางอื่น ๆ นิยมเชื่อมโยงด้วยกำมะถันมากกว่า ยกเว้นกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนได้ดี และ/หรือมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกลักษณ์สูง หรือต้องการเชิงในเพื่อการรักษารูปร่าง เมื่ออยู่ใต้เห็น แป๊ะเซบรีเซชันดเน็กการค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียรูปถาวรหลังกด (Compression Set) ต่ำเท่านั้น ปฏิกริยาเชื่อมโยงอย่างด้วยเปอร์ออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2.15 และ 2.16



รูปที่ 2.15 การเชื่อมโยงอย่างที่มีพันธะคู่ด้วยเปอร์ออกไซด์ [36]



รูปที่ 2.16 การเชื่อมโยงพอลิเมอร์ที่ไม่มีพันธะคู่ด้วยเปอร์ออกไซด์ [36]

2.7.3 ระบบการเชื่อมโยงด้วยสารเคมีอื่น ๆ

การใช้สารเคมีอื่น ๆ เช่น ซิลิเนียม เทลลูเรียม โลหะออกไซด์ (ซิงค์ออกไซด์ แมกนีเซียม ออกไซด์ ออกไซด์ของตะกั่ว) และสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ (Difunctional Compound) มีการนำมาใช้เป็นสารเชื่อมโยง แต่มีการใช้น้อยหรือใช้ในกรณีจำเป็น นิยมใช้กับยางที่มีอะตอมแฮโลเจนอยู่ในโครงสร้าง เช่น ยางคลอโรพรีน (Chloroprene, CR)

2.8 พลาสติไซเซอร์ [37,38]

พลาสติไซเซอร์เป็นสารที่มีความสามารถในการระเหยต่ำ โดยพลาสติไซเซอร์เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ แต่ไม่เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง ทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นตัวมากขึ้น โดยทั่วไปใส่พลาสติไซเซอร์ประมาณ 20-40% โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิต PVC เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร ฟิล์ม รองเท้า กระเป๋า เป็นต้น ประเภทของพลาสติไซเซอร์สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.8.1 พลาสติไซเซอร์ชนิดปฐมภูมิ

พลาสติไซเซอร์ชนิดปฐมภูมิ (Primary Plasticizer) สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1. พลาสติไซเซอร์อเนกประสงค์ (General Purpose Plasticizers) เป็นสารที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในอุตสาหกรรม เนื่องจากราคาถูกและทำให้พอลิเมอร์มีค่ามอดูลัสและความแข็งแรงดึงที่ไม่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินไปและมีค่าร้อยละการดึงสูงขึ้น ได้แก่ สารประเภทพลาทาเลต โดย สารประเภทพลาทาเลตที่นิยมใช้ได้แก่

- ไดเมทิล พทาเลต (Dimethyl Phthalate, DMP) นิยมใช้กับกาวพอลิไวนิลอะซิเตต พอลิไวนิลบิวทิลลัล อัลคิต และฟีนอลิก

- ไดบิวทิล พทาเลต (Dibutyl Phthalate, DBP) นิยมใช้กับโคบอลต์แนฟทีเนต เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิเอสเตอร์ ใช้เป็นสารหน่วงการเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลในฟีนอลิก

- ไดเอทิล พทาเลต (Diethyl Phthalate, DEP) ใช้กับกาวพอลิไวนิลอะซิเตต และการทำสารประกอบอัดแบบเซลลูโลสอะซิเตต

- ไดออกทิล พทาเลต (Diocetyl Phthalate, DOP) หรือ ได-2-เอทิลเฮกซิลพทาเลต (Di-2-Ethylhexyl Phthalate) นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากให้สมบัติที่ดีและมีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ

- บิวทิล เบนซิล พทาเลต (Butyl Benzyl Phthalate, BBP) นิยมนำมาใช้แทน DOP โดยเฉพาะการทำพื้นไวนิล ป้องกันเชื้อราและรอยเปื้อนได้ดี

- ไดไอโซออกทิล พทาเลต (Di-Isocetyl Phthalate, DIOP) เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ราคาแพงกว่าไอโซเมอร์อื่น ๆ องค์การอาหารและยาห้ามใช้สารนี้

- ไดไอโซเดคซิล พทาเลต (Di-Isodecyl Phthalate, DIDP) เป็นสารที่นิยมใช้กับโพลียูรีเทน เนื่องจากให้สมบัติการคืนตัวกลับที่ดี

2. พลาสติกไซเซออร์อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Plasticizers) เป็นสารที่แสดงการยืดหยุ่นตัวได้ดีแม้ที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่

- อะดิเปตส์ (Adipates) เป็นสารระเหยง่าย ผลิตจากกรดอะดิปิก (Adipic Acid) หรือกรดอะซีเลอิก (Azelaic Acid) กับแอลกอฮอล์ เช่น ไดออกทิลอะดิเปตส์ (Diocetyl Adipates, DOA), ไดไอโซออกทิลอะดิเปตส์ (Diisocetyl Adipates, DIOA), ไดไอโซเดคซิลอะดิเปตส์ (Diisodecyl Adipates, DIDA), และไดโนนอร์มัลออกทิลเดซิลอะดิเปต (Di-n-Octyldecyl Adipate, DNODA)

- อะซีเลต (Azelates) ที่นิยมใช้ได้แก่ ไดออกทิลอะซีเลต (Diocetyl Azelates, DOZ), ไดไอโซออกทิลอะซีเลต (Diisocetyl Azelate, DIOZ) มีความสามารถในการระเหยต่ำกว่าอะดิเปตส์ และนิยมใช้ในการผลิตฉนวนไฟฟ้าหรือสายเคเบิลที่ต้องการความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ

- ซีบาแคตส์ (Sebacates) ที่นิยมใช้ได้แก่ ไดออกทิลซีบาแคตส์ (Diocetyl Sebacates) และ ไดไอโซออกทิลซีบาแคตส์ (Diisocetyl Sebacates) เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมกับการผลิตฉนวนไฟฟ้า ทนอุณหภูมิต่ำ ความสามารถในการระเหยต่ำ และมีความต้านทานต่อน้ำมัน

3. พลาสติกไซเซออร์หน่วงการติดไฟ (Flame Retardance Plasticizers) เป็นสารประกอบประเภทฟอสเฟต นิยมใช้เพื่อให้พลาสติกมีสมบัติที่สามารถดับไฟได้เอง ได้แก่ ไทโรครีซิล ฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tricreyl Phosphate, TCP), ไทรฟีนิล ฟอสเฟต (Triphenyl Phosphate, TPF) และ ไทรออกทิล ฟอสเฟต (Trioctyl Phosphate, TOF)

4. พลาสติกไซเซอร์พอลิเมอร์ (Polymeric Plasticizers) เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อใช้ในงานที่คงทนและถาวร ได้แก่

- สารประกอบประเภทอีพอกไซด์ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized Soybean Oils, ESO) น้ำมันลินซีดอีพอกไซด์ (Epoxidized Linseed Oils) และน้ำมันทอลอีพอกไซด์ (Epoxidized Tall Oils) หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acids) เป็นต้น

- สารประกอบประเภทพอลิเอสเทอร์ ได้แก่ ไทรออกทิล ไทรเมลลิเทต (Trioctyl Trimellitate, TOTM), ไทรไอโซออกทิล ไทรเมลลิเทต (Tri-Isooctyl Trimellitate, TIOTM) และ นอร์มัลออกทิล และนอร์มัลเดซิล ไทรเมลลิเทต (*n*-Octyl and *n*-Decyl Trimellitate, NODTM)

2.8.2 พลาสติกไซเซอร์ชนิดทุติยภูมิ

พลาสติกไซเซอร์ชนิดทุติยภูมิ (Secondary Plasticizer) มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าชนิดปฐมภูมิ และใช้ได้ปริมาณที่จำกัด (มากกว่า 25% นำมาใช้ร่วมกับพลาสติกไซเซอร์ชนิดปฐมภูมิ) สารประเภทนี้ได้แก่

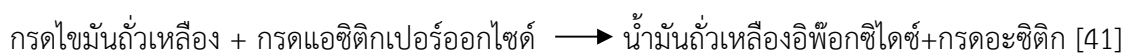
1. อะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) เป็นสารที่มีความสามารถเป็นตัวทำละลายน้อย มีขีดจำกัดในเรื่องของปริมาณในการใช้เนื่องจากความสามารถในการเข้ากันได้กับร่วมกับพลาสติกไซเซอร์ชนิดปฐมภูมิต่ำ

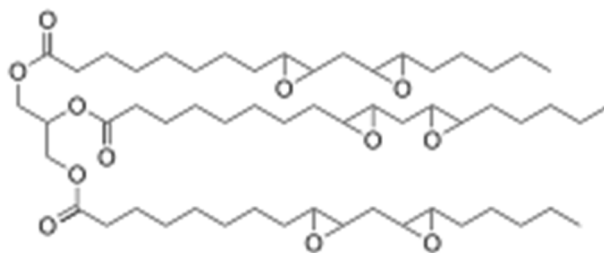
2. อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) จัดเป็นสารที่มีกลิ่น สี รวมทั้งความเสถียรทางความร้อนและแสงไม่ดี ความสามารถในการระเหยสูง

3. คลอรีเนเทต พาราฟินส์ (Chlorinated Paraffins) เป็นสารที่ไม่เสถียรต่อแสงและความร้อน ปกติใช้แทน DOP ได้มากกว่า 25% ความสามารถในการระเหยต่ำเนื่องจากมวลโมเลกุลสูง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยหน่วงการติดไฟได้อีกด้วย สารประเภทนี้ได้แก่ Cereclor เป็นต้น

2.9 น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ [39]

น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่สังเคราะห์มาจากการนำน้ำมันถั่วเหลืองมาทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเปอร์ออกไซด์ โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากกลไกดังนี้





รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ ESO [7]

2.9.1 สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์

- ลักษณะเป็นของเหลวเหนียว สีเหลืองอ่อน
- มีค่าความถ่วงจำเพาะ อยู่ในช่วง 0.993-0.997
- จุดเยือกแข็ง 0°C
- จุดวาบไฟ 227°C

2.9.2 การประยุกต์ใช้งาน

น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีการใช้งานเช่นเดียวกับพลาสติกไซเซออร์ อเนกประสงค์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีความสามารถเป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน โดยใส่ลงใน กระบวนการผลิตพลาสติก PVC เช่น ปะเก็น, ฟิล์ม, กระเป๋าเดินทาง เป็นต้น

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนาคม ไวยติดต่อ และคณะ [5] ได้พัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกซอลโดยใช้ EVA เป็นเนื้อหมึก พิมพ์แทน PVC และปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ คือ DOP และ ESO โดยเตรียม ผงสีผสมปริมาณ 1% โดยน้ำหนักกับ EVA ด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิ 90°C จากนั้นนำไป ผสมกับ DOP ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 90°C เวลา 30 นาที ควบคุมอัตราส่วน EVA:DOP เป็น 1:1 นำของผสมที่ได้ไปผสมกับ DOP และ ESO เพื่อปรับปรุงสูตรผสมโดยปั่นกวนด้วยแท่ง แม่เหล็กที่อุณหภูมิ 120°C โดยผสม DOP เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเติม ESO จากนั้นผสมต่ออีก 1 ชั่วโมง ทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลทุกสูตรที่ เตรียมได้มีค่าความหนืด (Brookfield viscometer โรเตอร์เบอร์ 4 ความเร็วรอบ 100 rpm) ที่ อุณหภูมิห้องอยู่ในช่วง 240-660 cP และแต่ละสูตรมีสมบัติทางความร้อนใกล้เคียงกันคือ T_g ของ EVA ในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง -84 ถึง -74°C และ T_m มีค่าอยู่ในช่วง 37 ถึง 48°C จากนั้นนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้สกรีนบนผ้าฝ้าย 100% และนำมาอบให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเซตตัวที่อุณหภูมิ 60-90°C เป็นเวลา 2-5 นาที นำมาทดสอบสมบัติความคงทนก่อนและหลัง การแช่น้ำเปล่าหรือซักล้าง ได้แก่ การยึดติดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้า ความคมชัดของลวดลาย และทดสอบเฉดสี พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุด คือ การอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 5 นาที

เนื่องจากไม่พบการหลุดลอกของเนื้อหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง ซึ่งการแห้งเซตตัวของหมึกพิมพ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกซอล เกิดจากการให้ความร้อนทำให้ EVA หลอมและซึมลงรูพรุนของผ้าและไปเกาะติดในเนื้อผ้า เมื่อเย็นตัวลงหมึกพิมพ์พลาสติกซอลแข็งตัวจึงยึดเกาะกับเนื้อผ้า

ศิริวรรณ ปันสกุล [14] ได้พัฒนาเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับ EVOH และ EMA กับ EVOH ในอัตราส่วน EVA/EVOH และ EMA/EVOH เป็น 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 และใช้ DOP และ ESO เป็นพลาสติกไซเซออร์ โดยผสมผงสีปริมาณ 1% ของ EVA/EVOH และ EMA/EVOH ด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิ 165°C จากนั้นนำไปผสมกับ DOP ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม:DOP เป็น 1:1 นำของผสมที่ได้ไปผสมกับ DOP และ ESO อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม:DOP:ESO เท่ากับ 1:6:2 โดยน้ำหนัก ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนเชิงกลที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็ว 500 rpm เวลาในการปั่นประมาณ 17 ชั่วโมง จะได้หมึกพิมพ์พลาสติกซอลและทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/EVOH และ EMA/EVOH พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 2,850-9,900 cP ซึ่งมีค่าต่ำกว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรการค้า (>10,000 cP) แต่ยังสามารถใช้งานสกรีนได้ สมบัติทางความร้อนพบว่า T_g ของเนื้อพอลิเมอร์ในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้ (EVA = -47 ถึง -46°C, EMA = -52.3 ถึง -50.5°C และ EVOH = 33 ถึง 38°C) มีค่าต่ำกว่า T_g ของพอลิเมอร์ก่อนผสม (EVA = -35.6°C, EMA = -38.4°C และ EVOH = 44.3°C) ทั้งนี้เป็นผลมาจาก DOP และ ESO ที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ เข้าไปแทรกตัวอยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ของ EVA หรือ EMA หรือ EVOH (แล้วแต่กรณี) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ส่วน T_m ของ EVA และ EMA ในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าลดลงอันเป็นผลมาจากการเติมพลาสติกไซเซออร์ ทำให้ความสมบูรณ์ของผลึกของ EVA และ EMA ลดลง แต่ T_m ของ EVOH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะ EVOH มีแรงดึงดูดของพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ระหว่างสายโซ่ ผลึกจึงมีความแข็งแรงมาก พลาสติกไซเซออร์จึงแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกได้ยาก และพบว่า การเติมผงสีไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล จากนั้นนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้สกรีนบนผ้าฝ้าย 100% และนำมาอบให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเซตตัวที่อุณหภูมิ 65 ถึง 95°C สำหรับหมึกพิมพ์สูตร EVA/EVOH และอุณหภูมิ 90 ถึง 125°C สำหรับหมึกพิมพ์สูตร EMA/EVOH เป็นเวลา 0.5 ถึง 5.0 นาที นำมาทดสอบสมบัติความคงทนก่อนและหลังการแช่น้ำเปล่าหรือซักล้าง ได้แก่ การยึดติดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้า ความคมชัดของลวดลาย และทดสอบเฉดสี พบว่าอุณหภูมิในการเซตตัวของหมึกพิมพ์สูตร EVA/EVOH ใช้อุณหภูมิต่ำสุดที่ 85°C โดยใช้เวลา 30 วินาที และหมึกพิมพ์สูตร EMA/EVOH ใช้อุณหภูมิต่ำสุดที่ 95°C โดยใช้เวลา 30 วินาที ความคมชัดในการพิมพ์ใกล้เคียงกับการใช้หมึกพิมพ์เกรดการค้า แต่ลักษณะของเนื้อหมึกพิมพ์จาก EVA/EVOH และ EMA/EVOH ยังคงจมในเนื้อผ้า จึงไม่เหมาะกับการสกรีนลงบนผ้าสีเข้มเนื่องจากสีกลืนไปกับเนื้อผ้า

O. Fenollar และคณะ [42] ได้ศึกษาสภาวะในการเชื่อมโยงที่เหมาะสมของพีวีซีพลาสติกซอลเอกสาร์นี้ (PVC Plastisols) โดยใช้กลุ่มอีพ็อกซิไดซ์แพตตีแอซิดเอสเตอร์ (Epoxidized Fatty Acid Ester, ไม่ว่การณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFAE) ซึ่งได้มาจากธรรมชาติสามารถย่อยสลายทางชีวภาพ และมีความเป็นพิษน้อย โดยการนำพีวีซีเรซิน (PVC Resin) มาผสมกับ EFAE ในปริมาณ 70 phr (Per Hundred Resin) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วง 160-220°C และเวลาที่ใช้เชื่อมโยง (Cure Time) ในช่วง 6-16 นาที จากนั้นศึกษาสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ เพื่อทดสอบค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ศึกษาการเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้าโดยนำไปแช่ในนอร์มอลเฮกเซน (*n*-Hexane) ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและนำไปชั่งน้ำหนักที่หายไป ศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ในสภาวะการเชื่อมโยงของแต่ละอุณหภูมิ และเวลาที่แตกต่างกันด้วยเครื่อง DSC และศึกษาการวัดการเปลี่ยนแปลงสีและตรวจวัดปริมาณของแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ งานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเชื่อมโยงอยู่ในช่วง 200-220°C และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยง อยู่ในช่วง 8-12 นาที จากสภาวะในการเชื่อมโยงดังกล่าว ทำให้วัฏภาคของพีวีซีและพลาสติกไซเซออร์มีความต่อเนื่องกัน เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์สามารถแทรกตัวเข้าไปในอนุภาคและเกิดการดูดซับบนอนุภาคพีวีซี เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่ามีค่าความแข็งแรงดึงในช่วง 9-10 MPa และการยืด ณ จุดขาดมีค่า 250% ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้าของพลาสติกไซเซออร์พบว่าที่อุณหภูมิ 160°C มีการสูญเสียพลาสติกไซเซออร์ในช่วง 15-35% ตามเวลาในการอบที่ลดลง ที่อุณหภูมิ 180°C เวลาในการอบ 8 นาที พบการสูญเสียพลาสติกไซเซออร์ประมาณ 18% และที่อุณหภูมิ 200-220°C พบการสูญเสียพลาสติกไซเซออร์ประมาณ 10% จากผลทดสอบทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 และ 180°C พบพีคในช่วง -16.6 ถึง -18.6°C คาดว่าเป็นพลาสติกไซเซออร์อิสระ (Free Plasticizer) ที่ไม่ถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคพีวีซี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้าของพลาสติกไซเซออร์

A. Jiménez และคณะ [43] ศึกษาผลของอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์พลาสติกซอลโดยใช้พลาสติกไซเซออร์ที่มีความเป็นพิษต่ำเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คือ พรอพิลีนไกลคอลอะดิเพตส์ (Propyleneglycol Adipates) ทำการผสม PVC กับพลาสติกไซเซออร์ด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 นาที โดยปรับเปลี่ยนปริมาณ PVC ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ และเปรียบเทียบกับการใช้พลาสติกไซเซออร์ทางการค้า ได้แก่ ได-เอทิล-เฮกซิลพทาเลต (Di-Ethyl-Hexyl Phthalate, DEHP) และ DOA จากนั้นนำไปทดสอบการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) เพื่อหาอุณหภูมิในการเซตตัว และปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสม และเสถียรภาพทางความร้อน พบว่าอุณหภูมิในการเซตตัวที่เหมาะสมของพีวีซีพลาสติกซอล คือ 145°C และความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ 50 และ 70 phr และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลาสติกไซเซออร์ทางการค้าพบว่าพรอพิลีนไกลคอลอะดิเพตส์มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

Ž. Mrklić และ T. Kovačić [44] ได้ศึกษากระบวนการระเหยของ DOP จากพีวีซีพลาสติกซอล โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของ DOP เป็น 10.15, 20.26, 30.06 และ 37.11 wt% ทำการทดสอบด้วยวิธี Isothermal Thermogravimetry ในช่วงอุณหภูมิ 120-150°C พบว่าค่าคงที่ไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราของกระบวนการระเหยของพลาสติกไซเซอรซ์ขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของพลาสติกไซเซอรซ์ในพีวีซีพลาสติกซอล อัตราการระเหยของ DOP มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันเส้นตรง (Linear Function) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของพลาสติกไซเซอรซ์ และมีการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Function) กับอุณหภูมิ คือ ในช่วงแรกมีการระเหยไม่มากและการระเหยเพิ่มขึ้นในช่วงหลัง

P. Karmalm และคณะ [45] ศึกษาสมบัติของพีวีซีพลาสติกซอลโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์เป็นพลาสติกไซเซอรซ์ โดยผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ 50 phr ใน PVC จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปอบเพื่อทดสอบอายุการใช้งาน (Ageing) โดยนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 180°C ทำการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการอบ คือ 5, 15, 20 และ 30 นาที และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าค่ามอดูลัสของพีวีซีพลาสติกซอลมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากหมู่อีพอกไซด์ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ทำให้พีวีซีพลาสติกซอลมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเวลาในการอบให้ความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานจะทำให้ชิ้นงานที่ยืดหยุ่นมีความแข็งซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงมากขึ้น

P. G. Nihu และคณะ [46] ศึกษาผลของพลาสติกไซเซอรซ์ผสมระหว่างน้ำมันรำข้าวอีพอกไซด์ (Epoxidized Rice Bran Oil, ERBO) กับ DOP และเปรียบเทียบกับผลของการใช้พลาสติกไซเซอรซ์ผสมระหว่าง ESO กับ DOP ที่มีต่อสมบัติโดยรวมของพีวีซีพลาสติกซอล เตรียมชิ้นงานโดยผสม PVC กับพลาสติกไซเซอรซ์ผสม 45 phr (DOP/ERBO และ DOP/ESO ในอัตราส่วน 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 และ 0/100 โดยน้ำหนัก) ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 2 นาที และนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยวิธีการกดอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 7 นาที พบว่าการใช้ DOP/ERBO และ DOP/ESO ที่ 40/60 มีการไหลซึมออกมา และการเคลื่อนที่ไปที่ผิวหน้า (Migration) ของพลาสติกไซเซอรซ์ผสมน้อยที่สุด และพบว่า DOP/ERBO สามารถเพิ่มความแข็งแรงถึง ณ จุดขาดของพีวีซีพลาสติกซอล และให้เสถียรภาพทางความร้อนของพีวีซีพลาสติกซอลที่มากกว่าการใช้ DOP เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใช้ DOP/ESO พบว่าให้สมบัติโดยรวมของพีวีซีพลาสติกซอลดีกว่าการใช้ DOP/ERBO เพราะ ESO มีปริมาณของหมู่ Oxirane ที่มากกว่า ERBO เนื่องจากส่วนประกอบของกรดไขมันที่ต่างกัน โดยหมู่ Oxirane มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาและสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นร่างแห 3 มิติได้

M. Kim และคณะ [16] ศึกษาผลของปริมาณ NR เพื่อเพิ่มสมบัติการกระดอน (Rebound Resilience) ของโฟม EVA โดยผสม EVA/NR ในอัตราส่วน 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 ในเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 5 นาที และนำของผสมที่ได้ไปผสมกับสารช่วยให้เกิดฟองและไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide, DCP) เป็นสารเชื่อมโยงในปริมาณ 0.6 phr ของปริมาณสารทั้งหมด ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยการกดอัดที่อุณหภูมิ 155, 160 และ 165°C ความดัน 14.7 MPa เป็นเวลา 40 นาที พบว่าเมื่อปริมาณของยางในโฟมเพิ่มขึ้นทำ

เอกสารนี้ให้ความแข็งแรงถึง ณ จุดขาดลดลงเป็นผลมาจากความแข็งแรงของ EVA มีมากกว่ายาง แต่สมบัติการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดอน และความแข็งแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นเพราะยางที่มีความยืดหยุ่นที่ดี งานวิจัยดังกล่าวสรุปว่าโพลีเอทิลีน (PE) ในอัตราส่วน 90/10 ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 165°C ให้สมบัติการกระดอน และความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) ที่มากกว่าโพลีเอทิลีน (PE)

K. Pongtanayut และคณะ [17] ได้ศึกษาสมบัติของพอลิเอพอกไซด์ระหว่าง NR/PLA และ ENR (%Epoxidation = 24.24)/PLA เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวให้แก่ PLA โดยทำการผสม PLA/Rubber ในอัตราส่วน 100/0 90/10 80/20 และ 70/30 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องผสมระบบปิดด้วยความเร็วรอบ 50 rpm ที่อุณหภูมิ 170°C และนำไปขึ้นรูปด้วยการกดอัดเป็นแผ่นเพื่อนำไปศึกษา สันฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกล พบว่า ENR มีความเข้ากันได้กับ PLA ดีกว่า NR เนื่องจากมีความเป็นไปได้อันตรกิริยาทางเคมี (Chemical Interaction) ระหว่างวงออกซิเรน (Oxirane Ring) ของ ENR กับหมู่ไฮดรอกซิลของ PLA ซึ่งสามารถสังเกตได้จากผลสันฐานวิทยาที่ ขนาดอนุภาคของ ENR ที่กระจายตัวอยู่ใน PLA มีการกระจายที่ดีและขนาดที่สม่ำเสมอ แต่เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเอพอกไซด์ลดลงเมื่อเทียบกับ PLA บริสุทธิ์ เนื่องจากเกิดการตัดสายโซ่ของ PLA ระหว่างทำการผสม และ PLA/ENR มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่า PLA/NR จากผลทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า PLA/NR และ PLA/ENR อัตราส่วน 90/10 โดยน้ำหนัก มีค่าสมบัติเชิงกลที่ดี แม้ว่าค่ามอดูลัสและความแข็งแรงดึงของ PLA/NR และ PLA/ENR มีค่าต่ำกว่า PLA เนื่องจาก PLA มีความแข็งแรงมากกว่า NR และ ENR แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของ PLA/NR อัตราส่วน 90/10 มีค่ามากกว่า PLA และ PLA/ENR เนื่องจากผลความยืดหยุ่นของ NR

Z. Mohamad และคณะ [47] ศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนปริมาณยาง ENR50 ในพอลิเอพอกไซด์ระหว่าง ENR50/EVA ในอัตราส่วน 0/100, 20/80, 40/60, 50/50, 60/40, 80/20, 100/0 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 6 นาที นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 5 นาที และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิเอพอกไซด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ ENR50 เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ENR50 มีความแข็งแรงน้อยกว่า EVA โดย ENR50/EVA อัตราส่วน 20/80 ให้สมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับ EVA และ พบว่า ENR50 และ EVA มีความเข้ากันได้จากการผสมสังเกตจากผลสันฐานวิทยาที่วิภาคการกระจายของ ENR50 กระจายตัวสม่ำเสมอในวิภาคหลัก EVA

M. K. Yong และคณะ [48] เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเอพอกไซด์ระหว่าง NR/EVA และ ENR50/EVA ในอัตราส่วน 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, และ 30/70 โดยหลอม EVA ในเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติม NR หรือ ENR50 ลงไป และผสมเป็นเวลา 6 นาที นำมาขึ้นรูปขึ้นงานดัมเบลที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องกดอัดที่อุณหภูมิ 120°C ที่ความดัน 1500 psi ทำการศึกษาสันฐานวิทยา ความแข็งแรงดึง และการบวมตัวในน้ำมัน พบว่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณ EVA เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้

เอกสารนี้ พอลิเอพอกไซด์ ENR50/EVA มีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่า NR/EVA เนื่องจากเกิดแรงระหว่างขั้วไม่เท่ากันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง ENR50 และ EVA ผลความต้านทานต่อน้ำมันพบว่า ENR50/EVA มีความต้านทานต่อน้ำมันมากกว่า NR/EVA เนื่องจากความมีขี้ของ ENR50 ที่มากกว่าทำให้สามารถทนต่อน้ำมันได้มากกว่า NR นอกจากนี้จากผลสัณฐานวิทยาพบว่า ENR50/EVA มีขนาดของภูมิภาคกระจายที่เล็กกว่าและมีการกระจายที่มากกว่า NR/EVA แสดงให้เห็นว่า ENR50 มีความเข้ากันได้กับ EVA ที่ดีกว่า NR

B.T. Poh และ N.H. Suid [49] ศึกษาสมบัติการยึดติดของกาวชนิดว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน (Pressure-Sensitive Adhesive) จาก ENR25 ที่เชื่อมโยงโดยการใส่ BPO โดยนำ ENR25 จำนวน 5 กรัม ผสมกับโพลูอิน ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้ละลายอย่างสมบูรณ์แล้วนำไปผสมคумаโรนอินดินเรซิน (Coumarone-Indene Resin) ปริมาณ 2 กรัม ด้วยเครื่องปั่นกวนเชิงกล จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงเติม BPO โดยงานวิจัยดังกล่าวศึกษาปริมาณ BPO ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 phr ที่มีต่อความเหนียวติด (Tackiness) ความแข็งแรงการฉีก (Shear Strength) และ ความแข็งแรงลอก (Peel Strength) พบว่ากาว ENR25 ที่ผสม BPO ที่ปริมาณ 1 phr มีความเหนียวติดของกาวมากที่สุด และเมื่อปริมาณของ BPO มากขึ้น (2 ถึง 5 phr) ส่งผลให้ความเหนียวของกาวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเนื้อกาวเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้นทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ยากขึ้นทำให้สมบัติการเปียก (Wettability) ของกาวลดลง นอกจากนี้พบว่ากาว ENR25 ที่ผสม BPO ที่ปริมาณ 1 phr มีค่าความแข็งแรงลอกที่มากที่สุดและลดลงเมื่อปริมาณของ BPO เพิ่มขึ้น ในกรณีของค่าความแข็งแรงการฉีกพบว่าค่าความแข็งแรงการฉีกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ BPO เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้นโครงสร้างแข็งขึ้นต้านแรงฉีกมากขึ้น

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้า ธนาคม ไวยติดต่อ และคณะ [5] พัฒนาเนื้อหมึกพิมพ์จาก EVA แทนเนื้อหมึกพิมพ์จาก PVC และลดปริมาณการใช้ DOP ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ลงบางส่วนโดยเลือก ESO มาทดแทน เนื่องจาก ESO มีโครงสร้างมีสายโซ่คาร์บอนที่ยาวและมีค่าการละลายใกล้เคียงกันกับพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ แม้ว่างานวิจัยดังกล่าวสามารถพัฒนาให้เนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกขอลจาก EVA ได้และมีอุณหภูมิการเซตตัวที่ต่ำกว่าเนื้อหมึกพิมพ์จาก PVC แต่เนื้อหมึกพิมพ์จาก EVA มีความคงทนต่อการซักล้างต่ำ มีข้อจำกัดด้านความคมชัดของลวดลายหลังการสกรีน โดยเกิดการไหลของเนื้อ EVA ในลักษณะซึมลงในเนื้อผ้าและขยายตัวในแนวด้านข้างในขณะอบให้ความร้อน งานวิจัยต่อมา [14] จึงพัฒนาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/EVOH เนื่องจาก EVOH ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลขนาดเล็กช่วยให้เนื้อหมึกพิมพ์มีความแข็งแรงและเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ นอกจากนี้ยังเพิ่มคู่ผสมระหว่าง EMA/EVOH เพราะ EMA เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแข็งกว่าและอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกสูงกว่า EVA ซึ่งทำให้เนื้อหมึกพิมพ์มีความแข็งแรงและยึดเกาะได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับ EVA งานวิจัยดังกล่าวพบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกขอลที่เตรียมได้มีความคมชัดในการพิมพ์สูงขึ้นใกล้เคียงหมึกพิมพ์เกรดการค้า แต่ลักษณะของเนื้อหมึกพิมพ์จาก EVA และ EMA ยังคงจมในเนื้อผ้า จึงไม่เหมาะกับการสกรีนลงบนผ้าสีเข้มเนื่องจากสีจะกลืนไปกับเนื้อผ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงลักษณะของเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกขอลโดยการปรับเนื้อหมึกพิมพ์ด้วยการใช้พอลิเมอร์ผสม

ระหว่าง EVA/NR และ EVA/ENR การนำยางธรรมชาติมาศึกษาเนื่องจาก NR ให้ความยืดหยุ่นสูง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืนตัวดี นอกจากนี้งานวิจัยนี้เลือกใช้ ENR 2 เกรด ได้แก่ ENR25 และ ENR50 มาศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้ NR เพราะ ENR มีขี้วที่มากกว่า NR จึงน่าจะมีความเข้ากันได้ดีกับ EVA และ ESO มากขึ้น เนื่องจากมีหมู่ออกซิเจนที่เหมือนกันจึงน่าจะมีความเข้ากันได้ดีขึ้น และทำให้ยึดติดกับวัสดุที่มีขี้ว เช่น ฝ้าย 100% ได้ดีขึ้นอีกด้วย ซึ่ง K. Pongtanayut และคณะ [17] พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ ENR มีความเข้ากันได้ดีกว่า PLA กับ NR ซึ่งสามารถสังเกตได้จากผลสัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ขนาดอนุภาคของ ENR ที่กระจายตัวอยู่ใน PLA มีขนาดที่สม่ำเสมอ และ Z. Mohamad และคณะ [47] ศึกษาผสม ENR50/EVA จากผลสัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์พบว่าวัฏภาคกระจายของ ENR50 มีขนาดและการกระจายที่สม่ำเสมอในวัฏภาคหลัก (EVA) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงหมึกพิมพ์ด้วยการใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide, BPO) เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยงเพื่อทำการเชื่อมโยงยางเพื่อทำให้หมึกพิมพ์ที่ได้มีสมบัติเชิงกลและมีเสถียรภาพทางรูปร่างที่สูงมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมี

1. เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA) : เกรด UL 00728CC, Exxon Mobil Chemical Co., Ltd.

ตารางที่ 3.1 สมบัติของเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์

สมบัติ	UL 00728CC	หน่วย
ความหนาแน่น	0.952	g/cm ³
สมบัติการไหล (Melt Index)	7.0	g/10 min
Vinyl Acetate Content	27.5	wt%
Vicat Softening Temperature	43	°C

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัท

2. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) : ยางแท่งเกรด STR5L, บริษัท เอ็ม.บี.เจ เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด

3. ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) : เกรด Epoxyprene 25 (ENR25) และ Epoxyprene 50 (ENR50), บริษัท เมืองใหม่ กัททรี จำกัด

ตารางที่ 3.2 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์

สมบัติ	ENR25	ENR50
%Epoxidation	25±2	50±2
Ash Content (Max. % Weight)	0.50	0.50
Mooney Viscosity ML (1' + 4') 100 °C (Range Min-Max)	70-100	70-100

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัท

4. ไดเอินออกทิลพทาเลต (Di-*n*-Octylphthalate, DOP) : เกรดการค้า, บริษัท ศรีเทพไทย เคมี จำกัด

5. น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์ (Epoxidized Soybean Oils, ESO) : เกรดการค้า VIKOFLEX[®] Series 7170, บริษัท ศรีเทพไทยเคมี จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สมบัติของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์

สมบัติ	VIKOFLEX Series 7170	หน่วย
ความหนาแน่น	0.993	g/cm ³
น้ำหนักโมเลกุล	1000	g/mol
ค่าการหักเหของแสง	1.472	-
ปริมาณอีพ็อกซิไดซ์	7.0	%

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัท

6. ผงสีแดง (Pigment Powder) : เกรดการค้า (ผงสีประเภทหมู่เนฟทอล (Naphthol))
7. เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide, BPO) เกรด 25% H₂O สำหรับการสังเคราะห์, Merck KGaA Co., Ltd.
8. ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำแบบเข้มข้น บริษัท เอกเซล, บริษัท ยูนิลีเวอร์ จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บริษัทเครื่องแก้ว
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด : รุ่น AX224, Sartorius Co., Ltd
4. ถ้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
5. เครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) : รุ่น D-47055 Duisburg, OHG DuisBuge Co., Ltd
6. เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) : รุ่น LRM 110, Lab Tech Engineer Co., Ltd.
7. แท่นกวนให้ความร้อน (Hot Plate with Stirrer) : รุ่น C-MAC HS7, IKA Co., Ltd.
8. เครื่องปั่นกวนเชิงกล : รุ่น RW20 Digital, IKA Co., Ltd.
9. ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40 ขนาด 4.5×4.5 ตารางนิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยประมาณ 0.263 mm)
10. แม่พิมพ์สกรีน 1 ชุดขนาด 12×16 ตารางนิ้ว
11. รูปภาพลายตัวเลข
12. เครื่องฉายแสง : หลอดไฟลูออเรสเซนต์ตรง 18W จำนวน 20 หลอด
13. ยางปาดสกรีน
14. เกรียงสำหรับปาดสี
15. ไดรฟ์เป่าลม : รุ่น MODEL NO : LS – 014, LE'SASHA Innovation Co., Ltd.
16. เครื่องให้ความร้อนแบบสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. เตาอบให้ความร้อน : รุ่น Model 100 – 800, Memmert Co., Ltd.
18. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer) : รุ่น RVT, BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES Co., Ltd.
19. กล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิดดิจิทัล (Digital Light Microscope) : รุ่น Dino – Lite Digital Microscope Pro 2, ANMO Eletronics Corparation Co., Ltd
20. เครื่องวัดสีมาตรฐาน ASTM D-1925 : รุ่น MiniScan XE plus, Color Associates Co., Ltd.
21. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscometer) : รุ่น SMV-201, Shimadzu Co., Ltd.
22. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) : รุ่น DSC 7, Perkin-Elmer Co., Ltd.
23. เครื่องไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ชนิดดิจิทัล : รุ่น PK-0505SUE, Mitutoyo Co., Ltd.



รูปที่ 3.1 เครื่องฉายแสง

3.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสีกับ DOP

1. ทำการรีดยางแท่งเกรด STR5L ให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิห้อง 2 รอบและทำการตัดยางให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปผสมกับ EVA และผงสี ตามตารางที่ 3.4 ผสมในเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลาในการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 15 นาที ทำการผสม 2 รอบจะได้พอลิเมอร์ที่ผสมสีประมาณ 90 กรัม
2. ตั้งอุณหภูมิของลูกกลิ้งของเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่ 80°C จากนั้นค่อย ๆ ใส่พอลิเมอร์ที่ผสมสี 80 กรัม และ DOP 80 กรัม (ควบคุมอัตราส่วน Polymer:DOP เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก) ผสมให้เข้ากัน ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สูตรพอลิเมอร์ผสม EVA/NR

สูตร	น้ำหนักของ EVA (g)	น้ำหนักของ NR (g)	ผงสี (g)
91NR	40.5	4.5	0.45
82NR	36.0	9.0	0.45
73NR	31.5	13.5	0.45

3.4 การเตรียมสูตรหมึกพลาสติกซอล

ตอนที่ 1

การปรับองค์ประกอบของส่วนหมึกพลาสติกซอลให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการ โดยนำสารผสมจากหัวข้อที่ 3.3 จำนวน 50 กรัม มาผสมกับ DOP และ ESO ในถ้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ให้อัตราส่วนของของผสมสุดท้ายเป็น Polymer:DOP:ESO = 1:4:3 โดยน้ำหนัก มีปริมาณผงสี 1% ของพอลิเมอร์โดยประมาณ โดยให้ความร้อนของผสมบนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C ค่อย ๆ เท DOP ลงในของผสม บั่นกวนด้วยเครื่องบั่นกวนเชิงกลด้วยความเร็วรอบ 600 rpm ประมาณ 18 ชั่วโมง จากนั้นค่อย ๆ เติม ESO แล้วบั่นกวนต่อจนสารทั้งหมดเข้ากันโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ได้หมึกพิมพ์พลาสติกซอลประมาณ 200 กรัม

ตอนที่ 2

เลือกหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR จากตอนที่ 1 ปรับปรุงด้วยการเปลี่ยน NR เป็น ENR25 และ ENR50 ในอัตราส่วนที่เท่ากัน และให้อัตราส่วนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลเป็นพอลิเมอร์:DOP:ESO = 1:4:3 โดยน้ำหนัก

ตอนที่ 3

เลือกหมึกพลาสติกซอลในตอนที่ 2 ปรับปรุงโดยการเติม BPO เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยง โดยนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เลือกมา 100 กรัม มาผสม BPO ในปริมาณ 1 phr และ 10 phr ของปริมาณยาง โดยทำการคนด้วยมืออย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เพื่อไม่ให้ BPO เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที

3.5 การทดสอบสมบัติของวัสดุพิมพ์และหมึกพลาสติกซอล

3.5.1. การหาค่าความหนืดของยางวัสดุพิมพ์

นำยางวัสดุพิมพ์ได้แก่ NR ENR25 และ ENR50 ทำการรีดเป็นแผ่นด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตัดยางที่รีดเป็นแผ่นแล้วให้มีน้ำหนักประมาณ 30 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร 2 แผ่น นำตัวอย่างยางประกบโรเตอร์ขนาดใหญ่และรองด้วยแผ่นพลาสติกก่อนนำเข้าช่องใส่ตัวอย่าง

เพื่อทดสอบความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดหมุนนี้โดยใช้ให้ความร้อนแก่ยางก่อนทดสอบประมาณ 1 นาทีและอ่านค่าความหนืดของยางหลังจากหมุนไปได้ 4 นาที ที่อุณหภูมิ 100°C (ML1 + 4(100°C))

3.5.2 การหาค่าความหนืดของหมึกพิมพ์

นำตัวอย่างหมึกพลาสติกซอลปริมาณ 140 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร กลุ่มโรเตอร์เบอร์ 7 ลงในหมึกพลาสติกซอล ทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ใช้ความเร็วรอบ 100 rpm เวลา 30 วินาที อ่านค่าและจดบันทึกเป็นทศนิยมตำแหน่งเดียว คำนวณค่าความหนืดในหน่วยเซนติพอยต์ (cP)

3.5.3 ทดสอบสมบัติทางความร้อน

ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC โดยใช้หมึกพิมพ์ตัวอย่างประมาณ 5-10 มิลลิกรัม อัตราการให้ความร้อนและอัตราการให้ความเย็นเท่ากับ 10 °C/min อุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ -100 ถึง 120°C ในสภาวะบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน

3.6 การสกรีนบนผ้าฝ้าย 100%

วิธีการและขั้นตอนการสกรีน

1. เตรียมแม่พิมพ์และผืนผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40 ขนาด 4.5×4.5 ตารางนิ้ว บนโต๊ะ
 2. เทหมึกพิมพ์ลงบนตำแหน่งพิมพ์ และนำยางปาดมาปาดสีร่องหน้าแม่พิมพ์ก่อน 1 ครั้ง
 3. วางแม่พิมพ์ให้แนบกับผ้า และปาดหมึกพิมพ์ผ่านภาพ 1 ครั้ง
 4. ยกแม่พิมพ์ขึ้นจากตำแหน่งพิมพ์
 5. นำผ้าพิมพ์ออก
 6. นำผ้าที่พิมพ์ได้ไปอบให้ความร้อน โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วง 70-90°C เป็นเวลา 30 วินาที และใช้อุณหภูมิ 180°C เวลา 30 วินาที สำหรับหมึกพิมพ์เกรดการค้าเพื่อเป็นสูตรควบคุม
- หมายเหตุ แม่พิมพ์ด้านปาดหมึกพิมพ์และด้านสัมผัสชิ้นงาน ต้องเช็ดทำความสะอาดด้วยน้ำมันสน และเป่าให้แห้งก่อนนำมาสกรีนหมึกพิมพ์สูตรต่อไป

3.7 การทดสอบการแห้งสัมผัส

การทดสอบการแห้งสัมผัสของหมึกพิมพ์บนผ้าโดยใช้นิ้วมือสัมผัสชิ้นงานบริเวณที่มีการสกรีน หลังอบให้ความร้อน ถ้าหมึกพิมพ์ไม่ติดที่นิ้วมือแสดงว่ามีการแห้งสัมผัสของหมึกพิมพ์ โดยเลือกเฉพาะสูตรที่ชิ้นงานมีการแห้งสัมผัสไปทดสอบในขั้นต่อไป

3.8 การทดสอบความทนทานของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังการสกรีน

การทดสอบความทนทานของชิ้นงานโดยการประเมินจากการวัดเฉดสีและวัดความคมชัดของลวดลาย ทำการเปรียบเทียบที่สภาวะก่อนอบ หลังอบ และหลังซักล้าง 1 และ 5 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบความทนทาน

นำชิ้นงานที่ผ่านการสกรีนและอบแห้งมาแล้วมาซัก (ใช้ผ้า 1 ชิ้นต่อการซักล้าง 1 ครั้ง) โดยใช้ น้ำปริมาณ 300 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ใส่ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ 2.3 มิลลิลิตร และแช่ผ้าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที แล้วปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนเชิงกล เป็นเวลา 30 นาที ใช้ความเร็วรอบ 500 rpm จากนั้นเทน้ำยาซักฟอกทิ้งและเติมน้ำปริมาณ 300 มิลลิลิตร และปั่นกวนด้วยความเร็วเดิมเพื่อล้างน้ำยาซักฟอกเป็นเวลา 15 นาที จึงนำชิ้นงานไปตากให้แห้งเพื่อนำมาทดสอบขั้นต่อไป

การซักล้าง 5 ครั้งทำโดยวิธีการเดียวกัน คือ ใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดน้ำ และดำเนินการตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจนครบ 5 รอบการซัก

3.8.2 การวัดความคมชัดของลวดลาย

ทำการวัดลวดลายของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงดูความกว้างและความคมชัดของลวดลายที่สกรีนบนผ้า โดยวัดระยะห่างจากตำแหน่งที่กำหนดของแม่พิมพ์สกรีนดังนี้

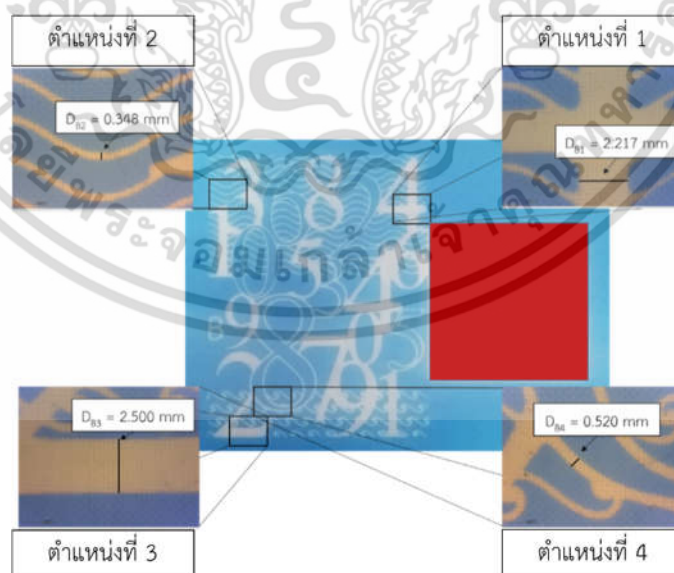
D_{B1} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 1 บนแม่พิมพ์ เท่ากับ 2.217 mm

D_{B2} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 2 บนแม่พิมพ์ เท่ากับ 0.348 mm

D_{B3} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 3 บนแม่พิมพ์ เท่ากับ 2.500 mm

D_{B4} คือ ระยะของตำแหน่งที่ 4 บนแม่พิมพ์ เท่ากับ 0.520 mm

วัดระยะเพื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะของตำแหน่งต่าง ๆ ของแม่พิมพ์สกรีน กับระยะของชิ้นงานก่อนอบ หลังอบ และหลังซักล้าง



รูปที่ 3.2 ระยะลวดลายในตำแหน่งต่าง ๆ และบริเวณที่ใช้ในการทดสอบการวัดสีบนบล็อกสกรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี

นำชิ้นงานมาทำการวัดสี (บริเวณสีเหลืองสีแดง รูปที่ 3.2) ด้วยเครื่องวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D - 1925 โดยแสดงเป็นค่า 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^* : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green)

a^* เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีแดง

a^* เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว

b^* : ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue)

b^* เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง

b^* เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน

ΔL_{SH}^* = ความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังได้รับความร้อน

สามารถคำนวณได้จาก $\Delta L_{SH}^* = \Delta L_H^* - \Delta L_S^*$

L_H^* = ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังอบ

L_S^* = ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังสกรีน

ΔL_{HW1}^* = ความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังซักล้าง 1 ครั้ง

สามารถคำนวณได้จาก $\Delta L_{HW1}^* = \Delta L_{W1}^* - \Delta L_H^*$

L_{W1}^* = ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังซักล้าง 1 ครั้ง

L_H^* = ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังอบ

ΔL_{HW5}^* = ความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังซักล้าง 5 ครั้ง

สามารถคำนวณได้จาก $\Delta L_{HW5}^* = \Delta L_{W5}^* - \Delta L_H^*$

L_{W5}^* = ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังซักล้าง 5 ครั้ง

L_H^* = ความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังอบ

Δa_{SH}^* = ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว (-100) ถึงสีแดง (100) หลังได้รับความร้อน

สามารถคำนวณได้จาก $\Delta a_{SH}^* = a_H^* - a_S^*$

a_H^* = เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังอบ

a_S^* = เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังสกรีน

Δa_{HW1}^* = ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว (-100) ถึงสีแดง (100) หลังซักล้าง 1 ครั้ง

สามารถคำนวณได้จาก $\Delta a_{HW1}^* = a_H^* - a_{W1}^*$

a_{W1}^* = เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังซักล้าง 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δa_{HW5}^* = ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว (-100) ถึงสีแดง (100) หลังชั่งล้าง 5 ครั้ง

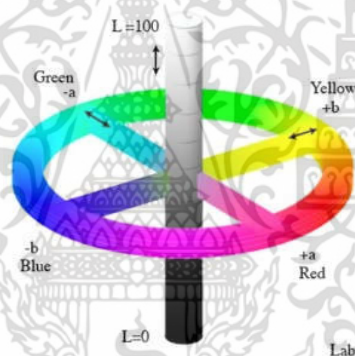
สามารถคำนวณได้จาก $\Delta a_{HW1}^* = a_H^* - a_{W5}^*$

a_{W5}^* = เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังชั่งล้าง 5 ครั้ง

a_H^* = เฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลหลังสกรีน



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดสี



รูปที่ 3.4 แบบจำลอง LAB [51]

3.9 การปรับเปลี่ยนชนิดของเครื่องให้ความร้อนโดยใช้ไตรเป่าลม

เลือกหมึกพิมพ์สูตรที่พบว่ามีความทนทานหลังการชั่งล้างที่ดีจากหัวข้อที่ 3.4 มาทำการสกรีนและให้ความร้อนโดยใช้ไตรเป่าลม โดยกำหนดให้ไตรเป่าลมอยู่สูงเหนือชิ้นงานประมาณ 15 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระยะห่างที่ชิ้นงานได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C (วัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์บริเวณตรงกลาง) ให้ความร้อนและแรงลมระดับสูงที่สุดเป็นเวลา 30 วินาที และจากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบทดสอบการแห้งสัมผัส ความคมชัดของลวดลายเบื้องต้นด้วยสายตา ทดสอบความคมชัดของลวดลาย และทดสอบความทนทานหลังการชั่งล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุที่ใช้สกรีน

เลือกหมึกพิมพ์สูตรที่พบว่ามีความทนทานหลังการซักล้างที่ดีจากหัวข้อที่ 3.4 มาทำการสกรีนลงบนกระดาษอาร์ตมัน, ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70, ผ้าเส้นใยพอลิเอสเตอร์ และผ้าไนลอน โดยขึ้นงานถูกนำไปให้ความร้อนด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นขึ้นงานที่ผ่านการอบให้ความร้อนถูกนำมาทดสอบความคมชัดของลวดลายเบื้องต้นด้วยสายตาและทดสอบการแห้งสัมผัส

3.11 การประเมินความพึงพอใจการใช้งานของหมึกพลาสติกซอล

หมึกพิมพ์พลาสติกซอลจะถูกนำไปประเมินความพึงพอใจทางการใช้งาน สำหรับงานพิมพ์สกรีนตามแบบประเมินดังตารางที่ ฎ.1 โดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง (5 คน) และนักศึกษาศาสาภาพพิมพ์ (5 คน) จากวิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร รวมทั้งหมดจำนวน 10 คน



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกซอลโดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/NR และ EVA/ENR เป็นเนื้อสีแทน PVC ผสมร่วมกับพลาสติกไซเซเซอร์ 2 ชนิดคือ DOP และ ESO ในอัตราส่วนพอลิเมอร์:DOP:ESO เป็น 1:4:3 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้มาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติทางความร้อน ความหนืด ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการเซตตัวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล ความคมชัดของลวดลาย และสมบัติความคงทน ก่อนและหลังการซักล้าง โดยนำหมึกพิมพ์ไปสกรีนลงบนวัสดุรองรับ ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 การพัฒนาหมึกพิมพ์โดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/NR

4.1.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล

งานวิจัยนี้เตรียมสูตรหมึกพิมพ์พลาสติกซอลโดยใช้ EVA/NR เป็นเนื้อสี และใช้ DOP และ ESO เป็นพลาสติกไซเซเซอร์ เมื่อนำมาวัดความหนืดได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/NR

ชื่อสูตร	อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก)				ปริมาณสี (% โดยน้ำหนักพอลิเมอร์)	ความหนืด (cP)
	EVA	NR	DOP	ESO		
91NR	0.9	0.1	4	3	1	30,800
82NR	0.8	0.2	4	3	1	28,000
73NR	0.7	0.3	4	3	1	26,600
Commercial	-	-	-	-	N/A	> 40,000

สมบัติการไหลแบบทิกโซโทรปิก (Thixotropic Fluid) เป็นสมบัติของของไหลที่ขึ้นกับเวลา คือเมื่อได้รับแรงเฉือนของไหลจะมีความหนืดลดลงและเมื่อปล่อยแรงความหนืดของไหลจะกลับสู่ความหนืดเริ่มต้นเป็นพฤติกรรมแบบผันกลับได้ ซึ่งหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีสมบัติดังกล่าว คือเมื่อเก็บหมึกไว้ในภาชนะบรรจุอยู่ในสภาพเกาะกันแน่นไม่มีการไหลตัว แต่เมื่อได้รับแรงเฉือนจากการคนให้เข้ากันหรือการปาดหมึกพิมพ์บนบล็อกสกรีนจะทำให้หมึกพิมพ์มีความหนืดที่ต่ำลงและสามารถไหลได้ นอกจากนี้จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความหนืดของหมึกพิมพ์มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อปริมาณของ NR เพิ่มขึ้น เนื่องจาก NR เป็นยางที่ไม่มีขั้วจึงทำให้มีความเข้ากันได้ต่ำกับพลาสติกไซเซเซอร์ที่มีขั้วอย่าง DOP และ ESO ทำให้มีการละลายของ NR ในพลาสติกไซเซเซอร์ที่น้อยลงความหนืดจึงลดลง นอกจากนี้เอกสารนี้การที่หมึกพิมพ์มีความหนืดต่างกันเล็กน้อยอาจเกิดจากการผสมในระบบเปิดอาจมีการสูญเสียไม่váกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกไซเซออร์ไปบ้างระหว่างการผสม เช่น ในขณะที่ทำการผสม DOP ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งอาจมีเนื้อพอลิเมอร์และ DOP บางส่วนเข้าไปติดด้านข้างของลูกกลิ้ง เป็นต้น แม้ว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้มีความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลเกรดการค้า (> 40,000 cP) แต่หมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้สามารถสกรีนลงบนผ้าได้เช่นเดียวกันกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความหนืดของหมึกพิมพ์จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยก่อนหน้า [14] (พัฒนาเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจากพอลิเมอร์ผสม EVA/EVOH ผสมผงสีปริมาณ 1% ของพอลิเมอร์ผสมกับ DOP และ ESO ในอัตราส่วน พอลิเมอร์ผสม:DOP:ESO เท่ากับ 1:6:2 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 17 ชั่วโมง มีความหนืด 7300-9500 cP) พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจากงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณพลาสติกไซเซออร์น้อยกว่า (พอลิเมอร์ผสม:DOP:ESO เท่ากับ 1:4:3) จึงทำให้มีความหนืดมากกว่าหมึกพิมพ์จากงานวิจัยก่อนหน้า เมื่อหมึกพิมพ์ได้รับความร้อนจะเกิดการไหลลงรูพรุนของผ้าและแผ่ออกของหมึกพิมพ์น้อยลง และที่หมึกพิมพ์ในงานวิจัยนี้สามารถลดปริมาณพลาสติกไซเซออร์ต่อพอลิเมอร์ลงจากงานวิจัยก่อนหน้าเนื่องจากการเปลี่ยนองค์ประกอบของเนื้อหมึกพิมพ์จาก EVOH เป็น NR โดย NR มีโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าจากพันธะคู่ในโครงสร้าง ส่งผลให้ NR มีความหนืดน้อยกว่าและไหลได้ง่ายกว่าจึงใช้ปริมาณพลาสติกไซเซออร์น้อยกว่า EVOH ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) มีพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างจึงมีความหนืดมากกว่าและไหลยากกว่า



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR

4.1.2 อุณหภูมิในการเซตตัว

จากการนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้มาสกรีนบนผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40 และนำไปอบเพื่อศึกษาสมบัติการแห้งตัวในช่วงอุณหภูมิ 70-90°C เป็นเวลา 30 วินาที แสดงผลการทดสอบการแห้งสัมผัสโดยการสัมผัสด้วยมือเปล่า ดังตารางที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิ 75°C เป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้หมึกพิมพ์พลาสติกซอลทุกสูตรแห้งสัมผัสซึ่งมีค่าต่ำกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า (180°C เวลา 30 วินาที) มาก โดยกลไกในการแห้งสัมผัสของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลเกิดจากหมึกพิมพ์ได้รับความร้อน ความหนืดของหมึกพิมพ์ลดลง ทำให้พอลิเมอร์และพลาสติกไซเซออร์ไหลเข้ารูพรุนของผ้าและเกิดการแผ่ออกด้านข้าง เมื่อหยุดให้ความร้อนความหนืดของหมึกพิมพ์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนไม่สามารถยับได้ เกิดการคงรูปของเนื้อพอลิเมอร์และยึดเกาะอยู่ในเนื้อผ้าด้วยกลไกการยึดติดเชิงกล (Mechanical) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interlocking) และที่อุณหภูมิ 70°C เนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่า T_m ของ EVA (73°C [50]) ทำให้ไม่เกิดการไหลและยังเกาะตัวอยู่บนเนื้อผ้าจึงไม่เกิดการแห้งสัมผัส

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิในการเซตตัวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/NR

สูตรหมึกพิมพ์	อุณหภูมิในการอบแห้งตัวที่เวลา 30 วินาที (°C)				
	70	75	80	85	90
91NR	x	✓	✓	✓	✓
82NR	x	✓	✓	✓	✓
73NR	x	✓	✓	✓	✓

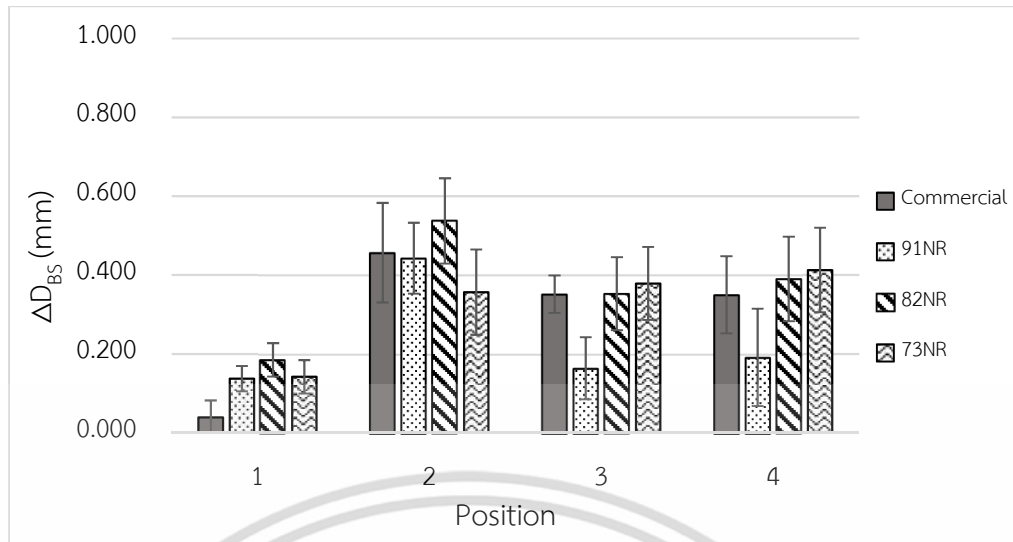
4.1.3 สมบัติความคมชัดของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังสกรีน

ความคมชัดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังการสกรีน ประเมินจากขนาดของลวดลายหลังการสกรีนบนผ้ากับขนาดของลวดลายที่ระบุในตำแหน่งต่าง ๆ บนบล็อกสกรีน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงผลในรูปที่ 3.2

ความคมชัดของลวดลายหลังการสกรีน (ΔD_{BS}) สามารถคำนวณได้จากผลต่างระหว่างระยะของลวดลายหลังการสกรีน (D_S) กับระยะของลวดลายบนบล็อกสกรีน (D_B) ($\Delta D_{BS} = D_S - D_B$) โดยค่า ΔD_{BS} มีค่าน้อยแสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์มีความคมชัดหลังการสกรีนสูงหรือมีความแตกต่างเล็กน้อยจากลวดลายต้นแบบ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่า ΔD_{BS} ส่วนใหญ่ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลทุกสูตรในแต่ละตำแหน่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า แสดงว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร EVA/NR ที่เตรียมขึ้นมีความสามารถในการสกรีนลงบนผ้าฝ้าย 100% ได้ โดยมีความคมชัดของหมึกพิมพ์หลังการสกรีนและมีการไหลเมื่อได้รับแรงจากการสกรีนใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า ทั้งนี้ค่าความหนืดที่ต่างกันของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้ไม่มีผลต่อความคมชัดของลวดลายหลังการสกรีน เป็นเพราะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงกระบวนการสกรีนที่ต้องใช้แรงกดขยาดหมึกพิมพ์ในขณะสกรีนงาน การปรับเปลี่ยนแรงกดที่ใช้ในการสกรีนตามความหนืดของหมึกพิมพ์ช่วยให้เกิดความคมชัดของลวดลาย โดยหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดมากต้องใช้แรงกดในการสกรีนมากและหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดน้อยต้องลดแรงกดในการสกรีน โดยการที่ใช้แรงกดในการสกรีนที่มากจนเกินไปทำให้หมึกพิมพ์เกิดการแผ่ออกด้านข้างได้ ทำให้ลวดลายมีขนาดใหญ่กว่าขนาดลวดลายจากบล็อกสกรีน ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนแรงในการสกรีนต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานด้วย โดยหมึกพิมพ์เกรดการค้ามีความหนืดที่มากจึงใช้แรงกดที่มากกว่าหมึกพิมพ์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ ดังนั้นความคมชัดของลวดลายจึงเป็นสมบัติที่ขึ้นกับความชำนาญของผู้ทำงานในการปรับแรงกดให้สอดคล้องกับความหนืดของหมึกพิมพ์

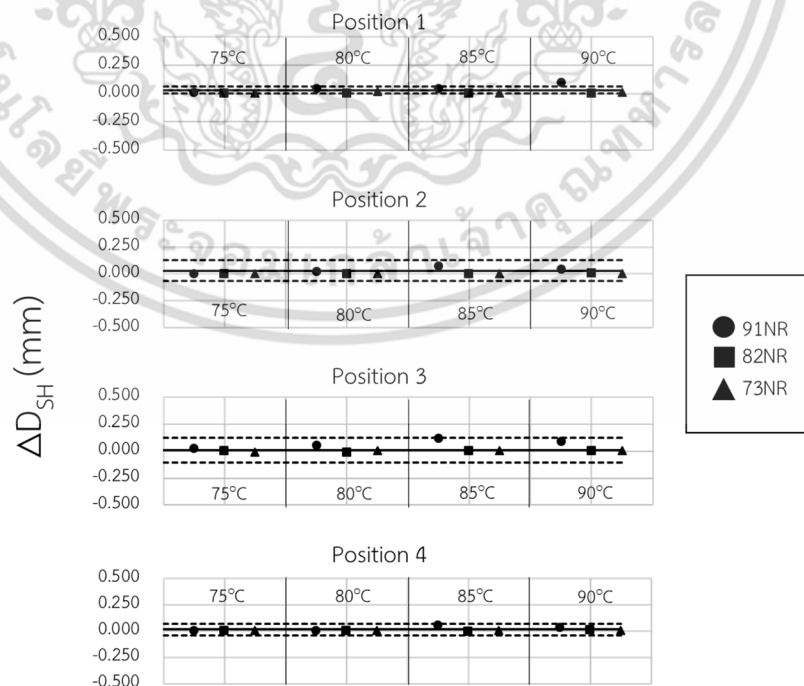
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลต่างระหว่างระยะลดทอนบนบล็อกสกรีนกับระยะลดทอนบนผ้าหลังสกรีน (ΔD_{BS}) ของหมึกพิมพ์สูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่ตำแหน่งที่ 1–4

4.1.4 ความคมชัดของลดทอนหลังจากได้รับความร้อน

ความคมชัดของลดทอนหลังการอบให้ความร้อนสามารถประเมินได้จากค่า ΔD_{SH} โดยคำนวณจากผลต่างระหว่างระยะของลดทอนหลังการอบ (D_H) กับ D_S ($\Delta D_{SH} = D_H - D_S$) โดย ΔD_{SH} มีค่าเป็นบวกหมายถึงหมึกพิมพ์มีขยายขนาดของลดทอนหลังการอบให้ความร้อน และมีค่าเป็นลบหมายถึงลดทอนของหมึกพิมพ์มีการหดตัวหลังอบให้ความร้อน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลต่างระหว่างระยะลดทอนบนผ้าหลังสกรีนและหลังอบ (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์เอกสารนี้เป็นเอกสารพลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C ที่ตำแหน่งที่ 1–4 ในการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 เส้นทึบ (—) คือเส้นค่าเฉลี่ยของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เส้นประ (-----) คือค่าควบคุมขอบเขตบน (Upper Control Limit, UCL) และค่าควบคุมขอบเขตล่าง (Lower Control Limit, LCL) ของหมึกพิมพ์เกรดการค้า โดยการใช้ Control Limit เป็นค่าทางสถิติที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งค่า UCL และ LCL คำนวณตามสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$UCL = \bar{x} + 3\sigma \quad (4.1)$$

$$LCL = \bar{x} - 3\sigma \quad (4.2)$$

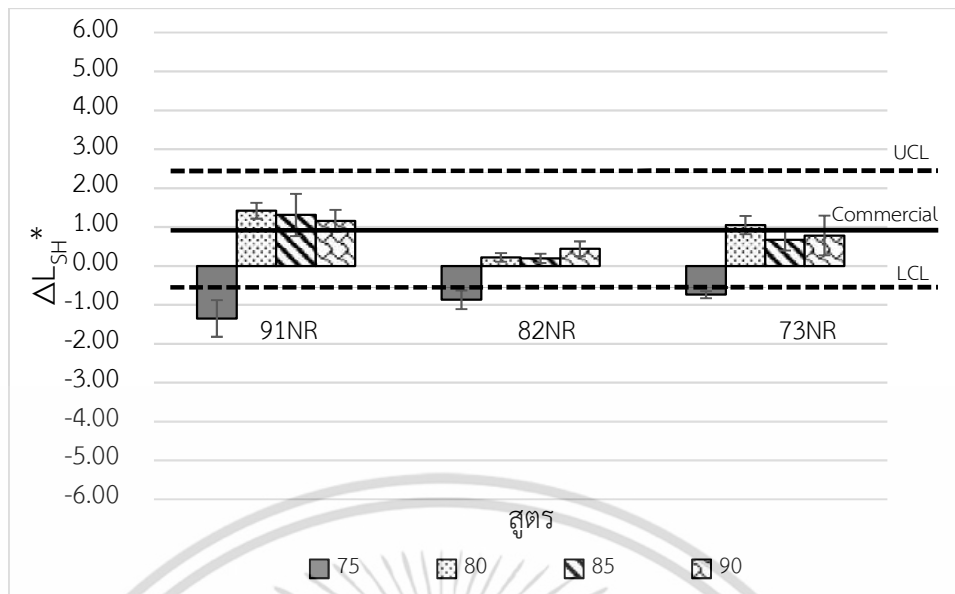
โดย \bar{x} คือ ค่า ΔD เฉลี่ยของหมึกพิมพ์เกรดการค้า
 σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า ΔD ของหมึกพิมพ์เกรดการค้า

เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการสกรีนไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-90°C เป็นเวลา 30 วินาที พบว่าค่า ΔD_{SH} (รูปที่ 4.3) ของหมึกพิมพ์พลาสติกชนิดส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 0.100 ถึง -0.100 มิลลิเมตร โดยค่า ΔD_{SH} ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียง 0 แสดงว่าหมึกพิมพ์มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งลงในรูพรุนของผ้าเมื่อหมึกพิมพ์ได้รับความร้อน แม้ว่าลวดลายใหญ่ที่ตำแหน่งที่ 1 และ 3 ที่อุณหภูมิสูงมีค่า ΔD_{SH} ที่มีค่าในทางบวกคือขนาดของลวดลายมีการขยายจากหมึกพิมพ์ไหลแฉ่อกด้านข้างจากการได้รับความร้อน แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ยังอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า

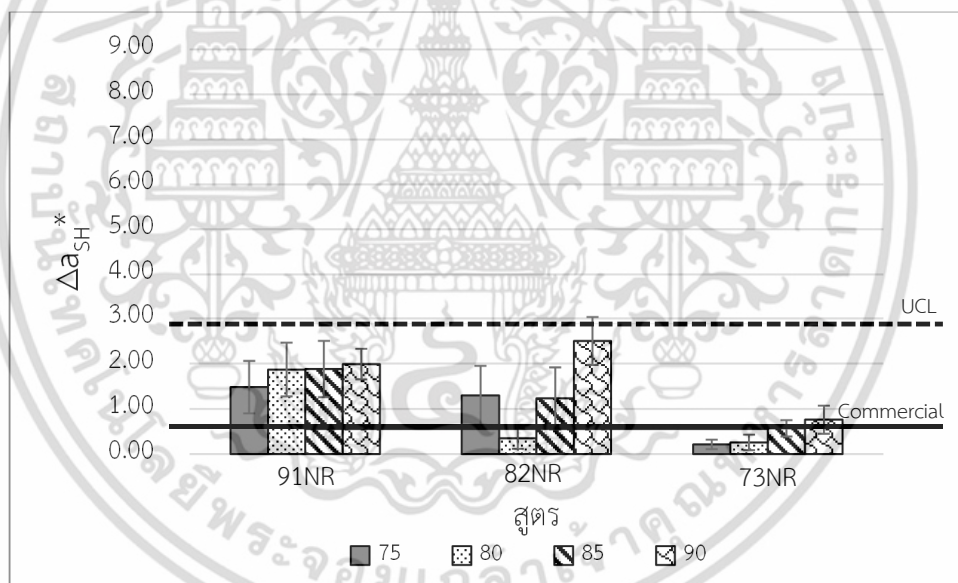
4.1.5 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพลาสติกชนิดบนผ้าหลังการอบร้อน

การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกชนิดหลังการอบแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ประกอบด้วยค่า ΔL^* และ Δa^* โดยค่า ΔL^* บ่งบอกถึงความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังการอบให้ความร้อน คำนวณได้จากผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบ (L_H^*) กับความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกชนิดหลังการสกรีน (L_S^*) ($\Delta L_{SH}^* = L_H^* - L_S^*$) โดยค่า ΔL_{SH}^* มีค่าเป็นบวกหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างมากขึ้นหลังอบให้ความร้อนและค่า ΔL_{SH}^* เป็นลบหมายถึงหมึกพิมพ์มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับเฉดสีก่อนอบให้ความร้อน

ค่า Δa^* แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเขียว (-100) ถึงสีแดง (100) เนื่องจากผงสีที่ใช้ในงานวิจัยเป็นสีแดง ค่า Δa^* คำนวณได้จากผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการสกรีน (a_S^*) กับเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ (a_H^*) ($\Delta a_{SH}^* = a_S^* - a_H^*$) โดย Δa_{SH}^* มีค่าบวกคือหมึกพิมพ์มีเฉดสีแดงลดลงหรือมีการซีดลงของสีแดงและค่าลบคือหมึกพิมพ์มีสีแดงเข้มขึ้น



รูปที่ 4.4 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C



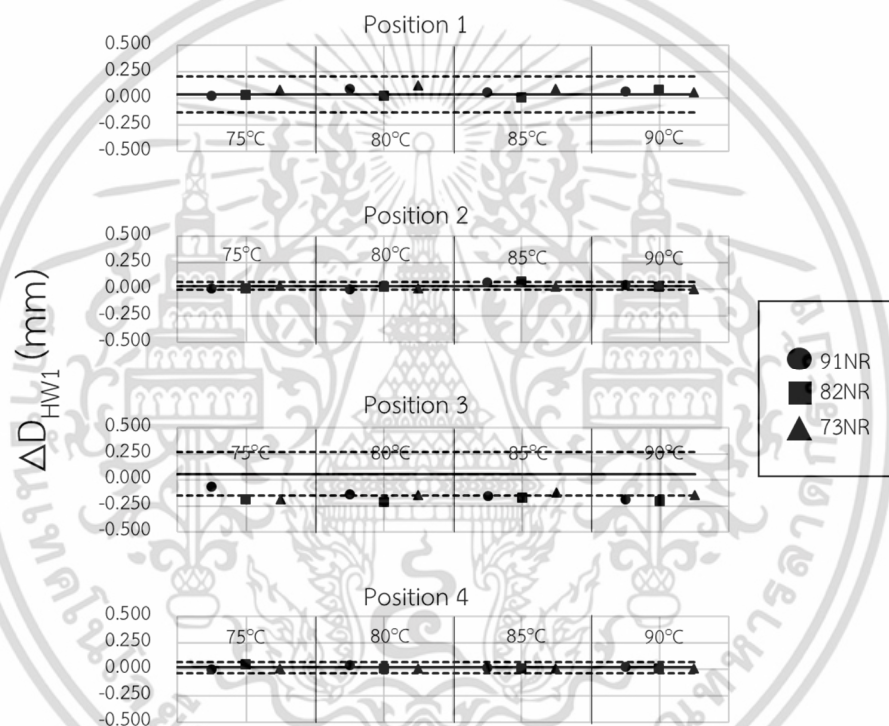
รูปที่ 4.5 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C

หลังจากนำชิ้นงานที่ผ่านการสกรีนไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75-90°C เวลา 30 วินาที พบว่าค่า ΔL_{SH}^* (รูปที่ 4.5) มีค่าอยู่ในช่วง -1.35 ถึง 1.42 และค่า Δa_{SH}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง 0.35 ถึง 2.50 หมายถึงหมึกพิมพ์ทุกสูตรมีสีแดงซีดลงหลังผ่านการให้ความร้อนจากการอบ เป็นผลจากหมึกพิมพ์ไหลลงรูปพรุนของผ้าหลังได้รับความร้อน ความเข้มข้นของหมึกพิมพ์ที่พื้นผิวผ้าจึงน้อยลง ส่งผลให้ค่า ΔL_{SH}^* และ Δa_{SH}^* มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีหลังอบให้ความร้อนมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อยและอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ความคงทนและเสถียรภาพของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังซักล้าง

4.1.6.1 ความคมชัดของลวดลายหลังซักล้าง

ความคมชัดของลวดลายวิเคราะห์ได้จากผ้าสกรีนลวดลายที่ผ่านการซักล้าง 1 ครั้ง แล้วหมึกพิมพ์ไม่หลุดออกจากผ้า โดยคำนวณจากผลต่างของระยะห่างลวดลายหลังซักล้าง 1 ครั้ง (D_{W1}) กับระยะห่างลวดลายหลังอบ (D_H) ($\Delta D_{HW1} = D_{W1} - D_H$) โดยเมื่อค่า ΔD_{HW1} มีค่าเป็นบวก หมายถึงมีการขยายขนาดของลวดลายหลังการซักล้าง 1 ครั้ง และค่า ΔD_{HW1} มีค่าเป็นลบหมายถึงมีการหดตัวของลวดลายหรือมีการหลุดออกของลวดลายหลังการซักล้าง 1 ครั้ง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6

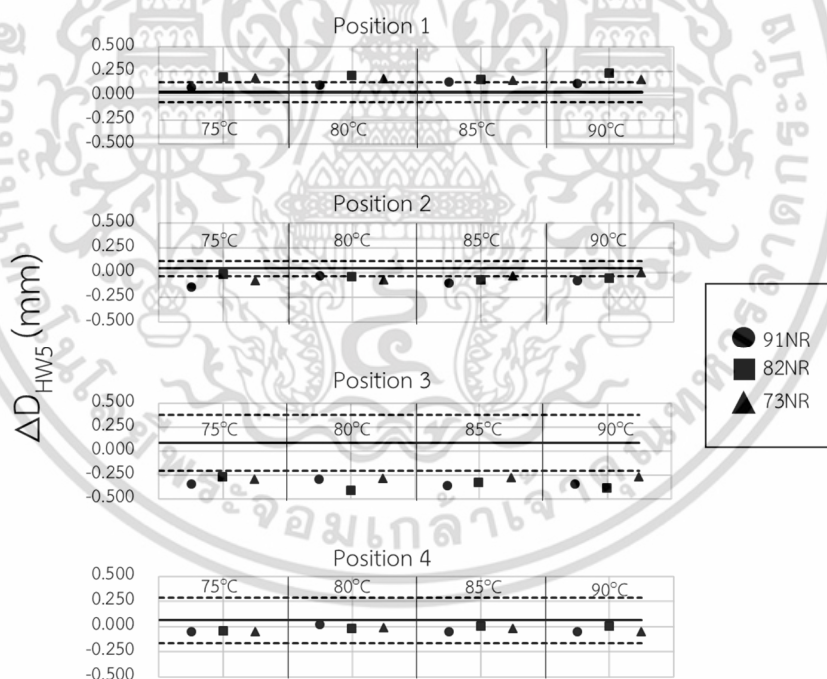


รูปที่ 4.6 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR อบที่อุณหภูมิ 75-90°C

จากรูปที่ 4.6 พบว่าลวดลายในตำแหน่งที่ 1 วัดขนาดทางแนวนอน ค่า ΔD_{HW1} มีค่าบวก แสดงว่ามีการขยายตัวของลวดลายเกิดขึ้น ส่วนลวดลายตำแหน่งที่ 2 และ 3 วัดขนาดทางแนวตั้ง และตำแหน่งที่ 4 วัดขนาดทางแนวทแยงมีค่าเป็นลบ แสดงว่ามีการหดตัวหรือการหลุดของลวดลายเกิดขึ้น นอกจากนี้ค่า ΔD_{HW1} บางค่าในตำแหน่งที่ 3 ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล หลุดช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า คาดว่าเป็นผลจากการหดตามกว้างและขยายตัวตามยาวของผ้าหลังการซักล้าง (รูปที่ 4.7) โดยผ้าก่อนซักมีขนาด 4.00x4.37 ตารางนิ้ว และหลังซักล้างมีขนาด 3.75x4.50 ตารางนิ้ว อย่างไรก็ตามหลังการซักล้างพบว่าลวดลายยังคงสมบูรณ์ เนื่องจากเนื้อหมึกพิมพ์หลักเป็น EVA ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซักล้าง 5 ครั้ง และค่า ΔD_{HW1} มีค่าเป็นลบหมายถึงมีการหดตัวของลวดลายหรือมีการหลุดออกของลวดลายหลังการซักล้าง 5 ครั้ง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9

จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่า ΔD_{HW5} ของหมึกพิมพ์ทุกสูตรในทุกตำแหน่งมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า โดยในตำแหน่งที่ 1, 2 มีค่า ΔD_{HW5} บวกค่า และตำแหน่งที่ 3 ทุกค่าอยู่นอกค่าควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้าซึ่งเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกันกับความคมชัดหลังการซักล้างครั้งที่ 1 โดยค่า ΔD_{HW5} มีค่ามากกว่า ΔD_{HW1} ซึ่งเกิดจากการขยายและหดตัวของผ้าที่มากขึ้นหลังผ่านการซักล้างมากรอบขึ้น สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าที่ใช้สกรีนหลังการซักล้างและการตากแห้งได้ชัดเจนขึ้นเมื่อผ่านการซักล้าง 5 ครั้งแสดงในรูปที่ 4.7 ค. เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าจากขนาด 4.00x4.37 ตารางนิ้ว (ก่อนการซักล้าง) เป็น 3.50x4.70 ตารางนิ้ว (หลังการซักล้าง 5 ครั้ง) โดยลวดลายที่ตำแหน่งที่ 1 วัดลวดลายแนวนอน จึงมีแนวโน้มขยายตัวออกในขณะที่ตำแหน่งที่ 2 กับ 3 ที่วัดลวดลายแนวตั้ง และตำแหน่งที่ 4 วัดลวดลายแนวทแยงมีแนวโน้มที่หดตัวแคบลง อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์พลาสติกซอลยังคงมีความสมบูรณ์ของลวดลายหลังการซักล้าง 5 ครั้ง เทียบเท่ากับหมึกพิมพ์เกรดการค้า



รูปที่ 4.9 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR อบที่อุณหภูมิ 75-90°C

4.1.6.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังการซักล้าง

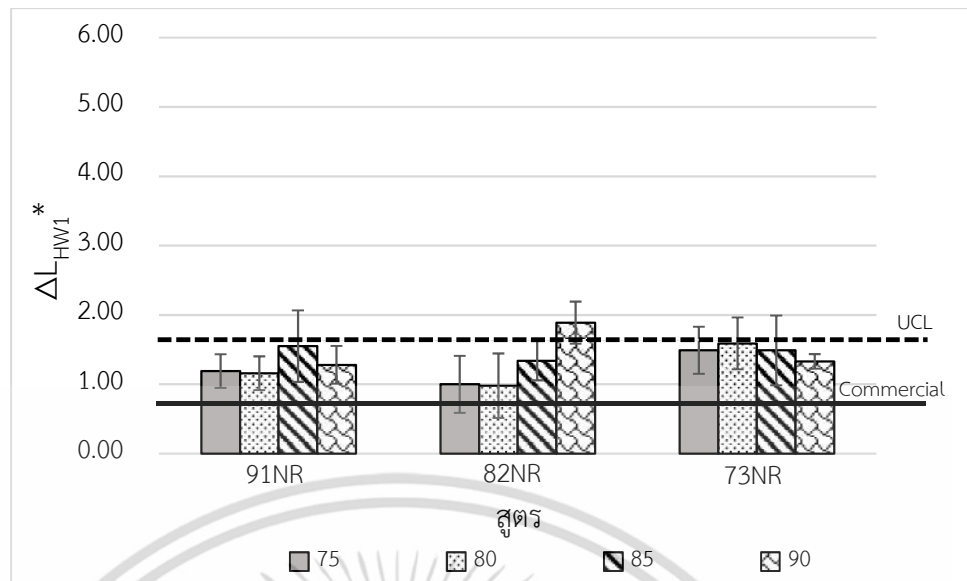
การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังการซักล้าง 1 ครั้ง แสดงดังรูปที่

4.10 และ 4.11 โดยค่า ΔL_{HW1}^* บ่งบอกถึงความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังการซักล้างครั้งที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

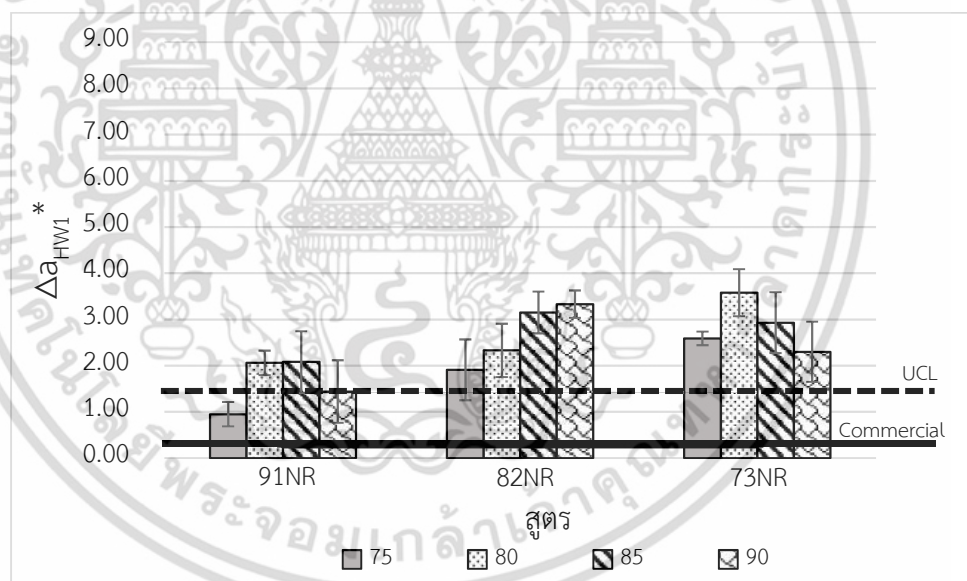
คำนวณได้จากผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 ครั้ง (L_{W1}^*) กับ L_H^* ($\Delta L_{HW1}^* = L_{W1}^* - L_H^*$) โดยค่า ΔL_{HW1}^* เป็นบวกลบหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างมากขึ้น และค่า ΔL_{HW1}^* เป็นลบหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างน้อยลงหลังการชักล้างครั้งที่ 1 และค่า Δa_{HW1}^* คำนวณได้จากผลต่างระหว่าง a_H^* กับเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้างครั้งที่ 1 (a_{W1}^*) ($\Delta a_{HW1}^* = a_H^* - a_{W1}^*$) โดย Δa_{HW1}^* มีค่าบวกคือหมึกพิมพ์มีเฉดสีแดงลดลงหรือมีการซีดลงของสีแดง และค่าลบคือหมึกพิมพ์มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีไปทางสีแดงมากขึ้นหลังการชักล้าง 1 ครั้ง

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าค่า ΔL_{HW1}^* มีค่าอยู่ในช่วง 1.00 ถึง 1.49 และ Δa_{HW1}^* มีค่าอยู่ในช่วง 0.95 ถึง 3.58 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการอบชิ้นงานของทุกสูตรพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบชิ้นงานเพิ่มขึ้นค่า ΔL_{HW1}^* และ Δa_{HW1}^* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหลังการชักล้าง 1 ครั้ง แสดงว่าอุณหภูมิในการอบชิ้นงานในช่วงที่ทำการศึกษาทดลอง (75°C ถึง 90°C) ให้การยึดเกาะของหมึกพิมพ์ที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่า ΔL_{HW1}^* ของหมึกพิมพ์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า แต่ค่า Δa_{HW1}^* ของหมึกพิมพ์ทุกสูตรมีค่าอยู่นอกช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้าและในน้ำหลังการชักมีสีแดงเจือปน แสดงว่าเกิดจากการฟอกจางสีของผลิตภัณฑ์ชักฟอก บ่งบอกว่าความทนทานต่อการชักล้างของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีค่าด้อยกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า

การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังการชักล้าง 5 ครั้ง โดยค่า ΔL_{HW5}^* บ่งบอกถึงความสว่างของสีที่เปลี่ยนแปลงหลังการชักล้างครั้งที่ 5 คำนวณได้จากผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้ง (L_{W5}^*) กับ L_H^* ($\Delta L_{HW5}^* = L_{W5}^* - L_H^*$) โดยค่า ΔL_{HW5}^* เป็นบวกลบหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างมากขึ้น และค่า ΔL_{HW5}^* เป็นลบหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างน้อยลงหลังการชักล้างครั้งที่ 5 และค่า Δa_{HW5}^* คำนวณได้จากผลต่างระหว่าง a_H^* กับเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้างครั้งที่ 5 (a_{W5}^*) ($\Delta a_{HW5}^* = a_H^* - a_{W5}^*$) โดย Δa_{HW5}^* มีค่าบวกคือหมึกพิมพ์มีเฉดสีแดงลดลงหรือมีการซีดลงของสีแดง และค่าลบคือหมึกพิมพ์มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีไปทางสีแดงมากขึ้นหลังการชักล้าง 5 ครั้ง



รูปที่ 4.10 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR หลังการอบ (ΔL_{HW1}^*) ที่อุณหภูมิ 75-90°C

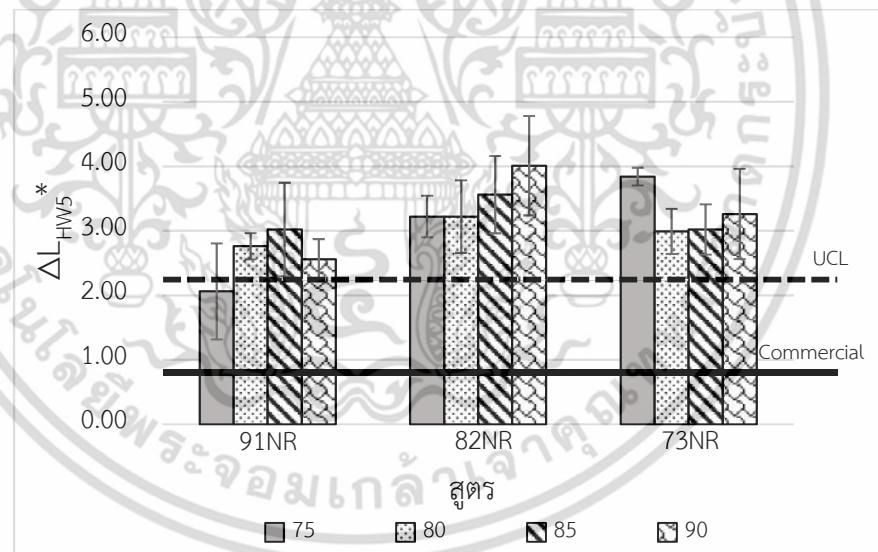


รูปที่ 4.11 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW1}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 ค่า ΔL_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง 2.06 ถึง 4.01 และ ค่า Δa_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง 1.99 ถึง 7.43 ตามลำดับ โดยค่า ΔL_{HW5}^* และ Δa_{HW5}^* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากผ่านการชักล้าง 5 ครั้ง แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงสีหลังการชักล้างของหมึกพิมพ์ทุกสูตรมีค่ามากกว่าช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการชักล้างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 5 พบว่า ค่า ΔL_{HW5}^* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

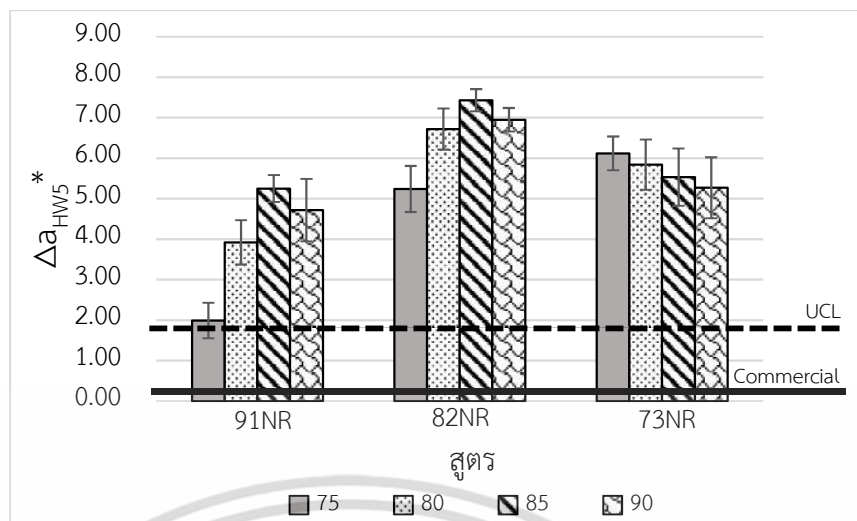
และ Δa_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่ามากกว่าค่า ΔL_{HW1}^* และ Δa_{HW1}^* แสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีการเปลี่ยนแปลงของความสว่างมากขึ้นและมีสีแดงซีดลงชัดเจนขึ้นเมื่อผ่านการซักล้างจำนวนครั้งมากขึ้น เนื่องจากหมึกพิมพ์ถูกฟอกจางสีโดยน้ำยาซักล้างซึ่งเข้าไปเคลื่อนย้ายเม็ดสีในเนื้อหมึกพิมพ์ให้ออกมาสังเกตจากน้ำหลังการซักล้างมีสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่พบการหลุดออกของลวดลายบนผ้า แสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้มีความทนทานต่อการซักล้างด้อยกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า

จากการศึกษาหมึกพิมพ์จาก EVA/NR หลังการทดสอบความคมชัด และความคงทนหลังซักล้างของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลพบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอล EVA/NR ทุกสูตร มีเสถียรภาพทางรูปร่างหลังให้ความร้อนที่ดีคือมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของลวดลายและการเปลี่ยนแปลงเฉดสีน้อย แต่หมึกพิมพ์สูตร 73NR พบการหลุดลอกของเนื้อหมึกพิมพ์ขณะซักล้าง นอกจากนี้พบว่าหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตรมีการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้างที่ด้อยกว่าเกรดการค้าเนื่องจากการยึดเกาะที่ไม่ดีระหว่างหมึกพิมพ์กับผ้า และสูตร 82NR มีปริมาณ NR ต่อ EVA ที่มากกว่า สูตร 91NR เพื่อให้เห็นผลของความมีขี้ขางของยาง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกหมึกพิมพ์สูตร 82NR มาศึกษาเปรียบเทียบผลของความมีขี้ขางของยางที่มีผลต่อความคงทนของหมึกพิมพ์ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.12 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 5 ครั้ง กับความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR หลังการอบ (ΔL_{HW5}^*) ที่อุณหภูมิ 75-90°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลต่างระหว่างเขตสี่เหลี่ยม-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 91NR, 82NR และ 73NR ที่อุณหภูมิ 75-90°C

4.2 การปรับปรุงหมึกพิมพ์โดยใช้ ENR

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพัฒนาหมึกพิมพ์โดยปรับเปลี่ยนเนื้อหมึกพิมพ์จากพอลิเมอร์ผสม EVA/NR เป็น EVA/ENR เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความมีขั้วของยาง โดยศึกษา ENR 2 เกรดที่มี %Epoxidation ต่างกัน ได้แก่ 25% (ENR25) และ 50% (ENR50) โดยยางที่มี %Epoxidation มาก มีขั้วมาก ซึ่งการที่ยางมีขั้วเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มผสมกับ EVA ได้ดีมากขึ้นและเพิ่มสมบัติการยึดเกาะและความทนทานต่อการชักล้างของหมึกพิมพ์ โดยศึกษาเปรียบเทียบที่อัตราส่วน EVA/ยาง เป็น 80/20

4.2.1 ความเหนียวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล

ค่าความเหนียวของยางวัตถุดิบและความเหนียวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่อัตราส่วน EVA ต่อยางเป็น 80 ต่อ 20 แสดงผลดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ความเหนียวของยางวัตถุดิบ

ยาง	ความเหนียว (ML1+4(100°C))
NR	72
ENR25	58
ENR50	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่อัตราส่วน EVA/ยาง เป็น 80/20

ชื่อสูตร	อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก)						ปริมาณสี (% โดยน้ำหนัก พอลิเมอร์)	ความหนืด (cP)
	EVA	NR	ENR25	ENR50	DOP	ESO		
82NR	0.8	0.2	0	0	4	3	1	28,000
82ENR25	0.8	0	0.2	0	4	3	1	18,800
82ENR50	0.8	0	0	0.2	4	3	1	20,000
Commercial	-	-	-	-	-	-	N/A	> 40,000

ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR (EVA/NR), 82ENR25 (EVA/ENR25) และ 82ENR50 (EVA/ENR50) แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าหมึกพิมพ์สูตร 82NR มีความหนืดมากที่สุด สอดคล้องกับผลการวัดความหนืดมูนิของยางวัตถุดิบดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยความหนืดมูนิของ NR มีค่ามากที่สุด ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง NR และ ENR ความหนืดที่มากกว่าของ NR เป็นผลจากความยาวของสายโซ่ที่ยาวกว่าของ NR ทำให้หมึกพิมพ์ EVA/NR มีความหนืดมากที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 82ENR25 กับ 82ENR50 พบว่าหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีความหนืดมากกว่าหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 อยู่เล็กน้อย เป็นผลจากโครงสร้างของยางมีความแข็งมากขึ้นจากสภาพขั้วและปริมาณเปอร์เซ็นต์อีพ็อกซีไดไซในเชิงธรรมชาติที่สูงขึ้น

4.2.2 สมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล

ทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัตถุดิบตั้งต้นและหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR 82ENR25 และ 82ENR50 ใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) สมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่า T_g , T_m และ ค่า Solubility Parameter ของวัตถุดิบตั้งต้น

สาร	Solubility Parameter ($\text{cal}^{1/2}\text{cm}^{-3/2}$)	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)
EVA	9.10-9.50 [13]	-36 [14]	58-79 [14], 73 [50]
NR	7.95 [52]	-64	-
ENR25	8.48 [52]	-46	-
ENR50	8.82 [52]	-24	-
DOP	8.85 [12]	-	-81 $^{\circ}\text{C}$ [14]
ESO	8.10 [12]	-	-12 $^{\circ}\text{C}$ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่า T_m และ T_c ขององค์ประกอบในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้

สูตร	T_m ($^{\circ}\text{C}$)		T_c ($^{\circ}\text{C}$)
	DOP	ESO	EVA
82NR	-78	-23	45
82ENR25	-78	-23	44
82ENR50	-78	-23	46

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบทางความร้อนของวัตถุดิบตั้งต้น พบ T_g ของ EVA ที่อุณหภูมิ -36°C และ T_m ของ EVA ในช่วงอุณหภูมิ 58 ถึง 79°C และพบ T_g ของ NR, ENR25 และ ENR50 ที่อุณหภูมิ -64 , -46 และ -24°C ตามลำดับ นอกจากนี้จากค่าการละลายของ ENR25 และ ENR50 มีค่าใกล้เคียงกับค่าการละลายของ DOP และ ESO ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเนื้อหมึกพิมพ์ EVA/ENR จะมีความเข้ากันได้มากขึ้นกับพลาสติกไซเซออร์ แต่จากผลทดสอบทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้ (ตารางที่ 4.6) พบว่าหมึกพิมพ์ทุกสูตรพบ T_m ที่อุณหภูมิประมาณ -78°C คาดว่าเป็น T_m ของ DOP และพบที่ T_m ที่อุณหภูมิ -23°C คาดว่าเป็น T_m ของ ESO โดย T_m ของ ESO ในเนื้อหมึกพิมพ์มีค่าต่ำกว่าวัตถุดิบตั้งต้นคาดว่าเกิดจากการที่ ESO มีความเข้ากันได้กับ DOP (ค่าการละลายมีค่าใกล้เคียงกัน) ทำให้โมเลกุลของ ESO สามารถขยับได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ T_m ลดลง แต่ไม่เห็นพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดในหมึกพิมพ์ เนื่องจากหมึกพิมพ์มีองค์ประกอบหลักเป็น DOP และ ESO จึงไม่สามารถยืนยันความเข้ากันได้ระหว่าง EVA กับยาง และพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ได้ นอกจากนี้พบ T_c (Crystallization Temperature) ที่ช่วงอุณหภูมิ 44 ถึง 46°C คาดว่าเป็น T_c ของ EVA (T_c ของ EVA มีค่าอยู่ในช่วง $55-57^{\circ}\text{C}$ [54-55]) โดยค่า T_c ของ EVA ในเนื้อหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าต่ำกว่าค่า T_c จากแหล่งอ้างอิงเนื่องจากการที่มีพลาสติกไซเซออร์ทำให้ EVA มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสายโซ่ของ EVA สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นจึงใช้อุณหภูมิต่ำลงเพื่อเกิดผลึก

4.2.3 อุณหภูมิในการเซตตัว

จากการนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมาปรับปรุงโดยการเปลี่ยน NR เป็น ENR และนำมาสกรีนบนผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40 นำไปอบในช่วงอุณหภูมิ $70-90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 วินาที แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ถูกปรับปรุงโดยการเปลี่ยน NR เป็น ENR ทุกสูตรมีการแห้งสัมผัสที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ 75°C และมีกลไกการแห้งสัมผัสเช่นเดียวกับหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เนื้อหมึกพิมพ์เป็น EVA/NR เนื่องจากเนื้อพอลิเมอร์หลักยังคงเป็น EVA และส่งผลให้อุณหภูมิ 70°C หมึกพิมพ์ไม่เกิดการไหลและยังเกาะตัวอยู่บนเนื้อผ้าทำให้ไม่เกิดการแห้งสัมผัสเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่า T_m ของ EVA ดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.1.2

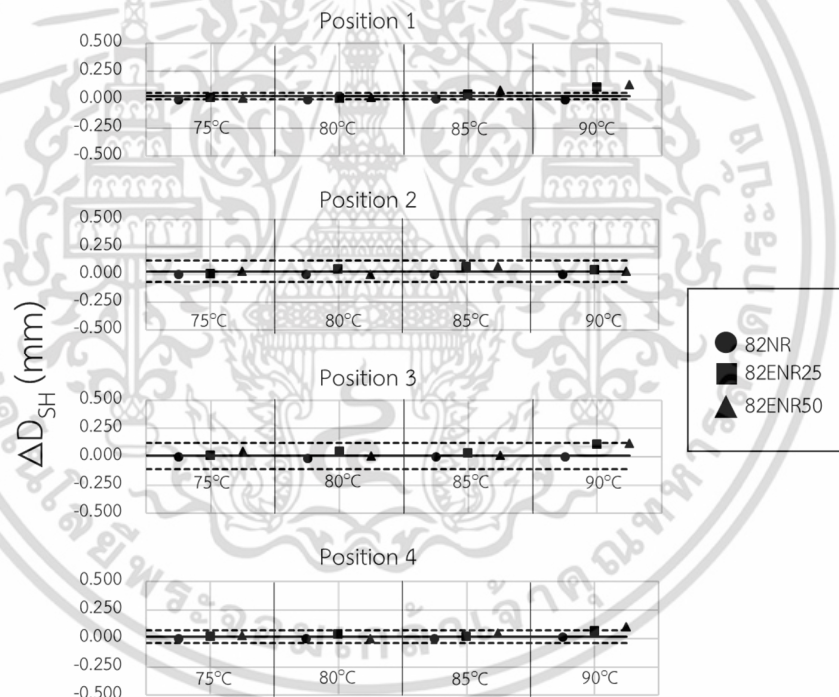
ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิในการเซตตัวของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรต่าง ๆ

สูตรหมึกพิมพ์	อุณหภูมิในการอบแห้งตัวที่เวลา 30 วินาที (°C)				
	70	75	80	85	90
82NR	x	√	√	√	√
82ENR25	x	√	√	√	√
82ENR50	x	√	√	√	√

หมายเหตุ เครื่องหมายถูก (√) = แห้งสัมผัส และเครื่องหมายผิด (x) = ไม่แห้งสัมผัส

4.2.4 ความคมชัดของลวดลายหลังจากได้รับความร้อน

ความคมชัดของลวดลายหลังการอบให้ความร้อนสามารถประเมินได้จากค่า ΔD_{SH} โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลต่างระหว่างระยะละลายบนผ้าหลังสกรีนและหลังการอบ (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C ตำแหน่งที่ 1-4

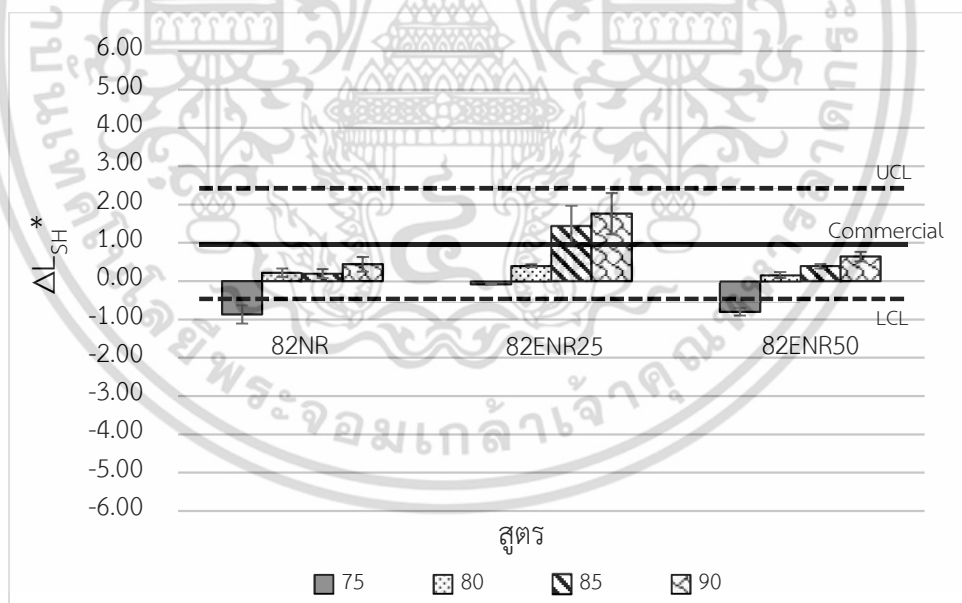
จากการศึกษาการเปลี่ยนชนิดของยางในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจาก EVA/NR เป็น EVA/ENR25 และ EVA/ENR50 จากรูปที่ 4.14 พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่มีเนื้อสีเป็น EVA/ENR25 และ EVA/ENR50 มีค่า ΔD_{SH} ส่วนใหญ่เป็นบวกหรือมีการขยายของลวดลายที่มากกว่าหมึกพิมพ์ EVA/NR โดยตำแหน่งที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นลวดลายใหญ่ และที่ตำแหน่งที่ 4 ของหมึกพิมพ์

สูตร 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 90°C พบว่าค่า ΔD_{SH} มีค่ามากกว่าช่วงควบคุมหมึกพิมพ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์แล้ว กรุณาแจ้งเจ้าของลิขสิทธิ์ให้ทราบ

เกรดการค้า ซึ่งเป็นผลจากความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล โดยเมื่อได้รับความร้อนจากการอบ หมึกพิมพ์ EVA/ENR25 และ EVA/ENR50 มีความหนืดน้อย สามารถไหลลงรูปพรุนในเนื้อผ้าและแพร่ออกด้านข้างได้มากกว่าหมึกพิมพ์ EVA/NR ที่มีความหนืดมากกว่า แม้ว่าค่า ΔD_{SH} ของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90°C มีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าเมื่อเทียบกับ 82NR แต่ค่า ΔD_{SH} ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า

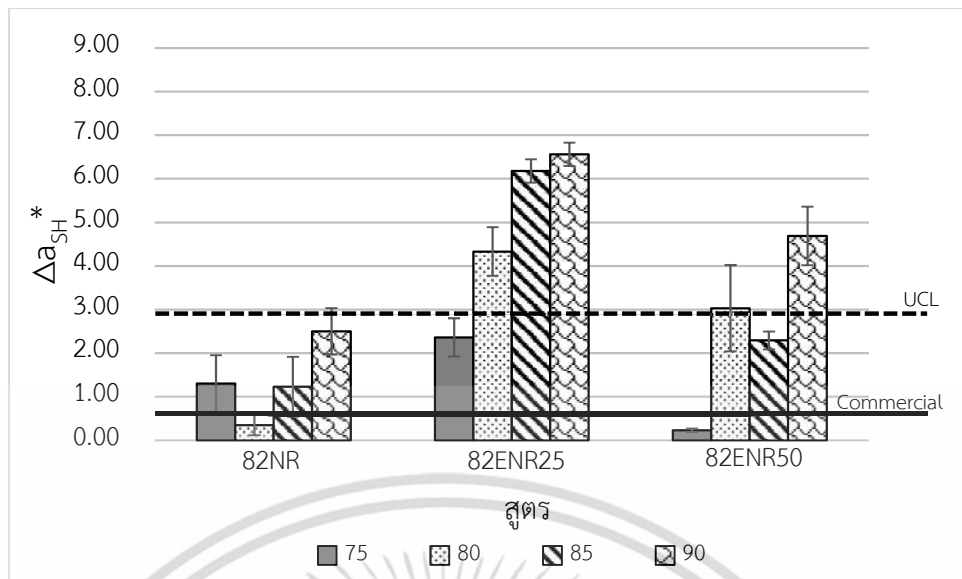
4.2.5 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพลาสติกซอลบนผ้าหลังการอบร้อน

หลังจากนำชิ้นงานที่ผ่านการสกรีนไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $75-90^{\circ}\text{C}$ เวลา 30 วินาที จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 ค่า ΔL_{SH}^* มีค่าอยู่ในช่วง -0.80 ถึง 1.76 และค่า Δa_{SH}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง 0.23 ถึง 6.56 ตามลำดับ โดยพบว่าหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 มีค่าความสว่างและมีการขีดของสีแดงมากที่สุดและมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีแดงที่อุณหภูมิ 80 ถึง 90°C มากกว่าช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เป็นผลจากอิทธิพลของความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล โดยหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 มีค่าความหนืดต่ำ จากที่กล่าวมาว่าหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนจากการอบ หมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีโอกาสไหลลงรูปพรุนของเนื้อผ้าและแพร่ออกด้านข้างได้มากกว่าหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดมากกว่า ทำให้สีของหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำมีความแตกต่างจากค่าเริ่มต้นมากกว่าหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดสูง



รูปที่ 4.15 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบกับความสว่างหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ $75-90^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



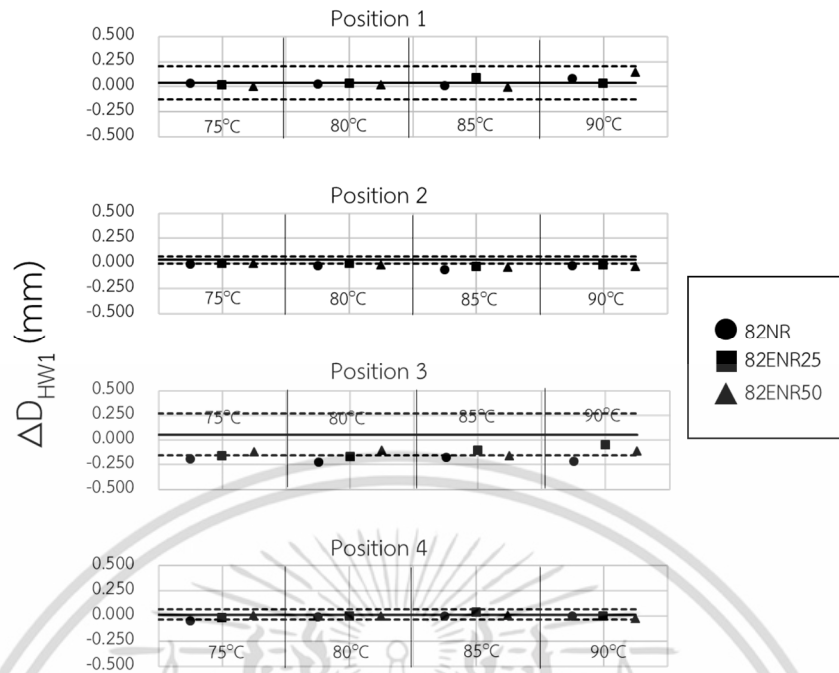
รูปที่ 4.16 ผลต่างระหว่างแฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C

4.2.6 ความคงทนและเสถียรภาพของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลหลังชักล้าง

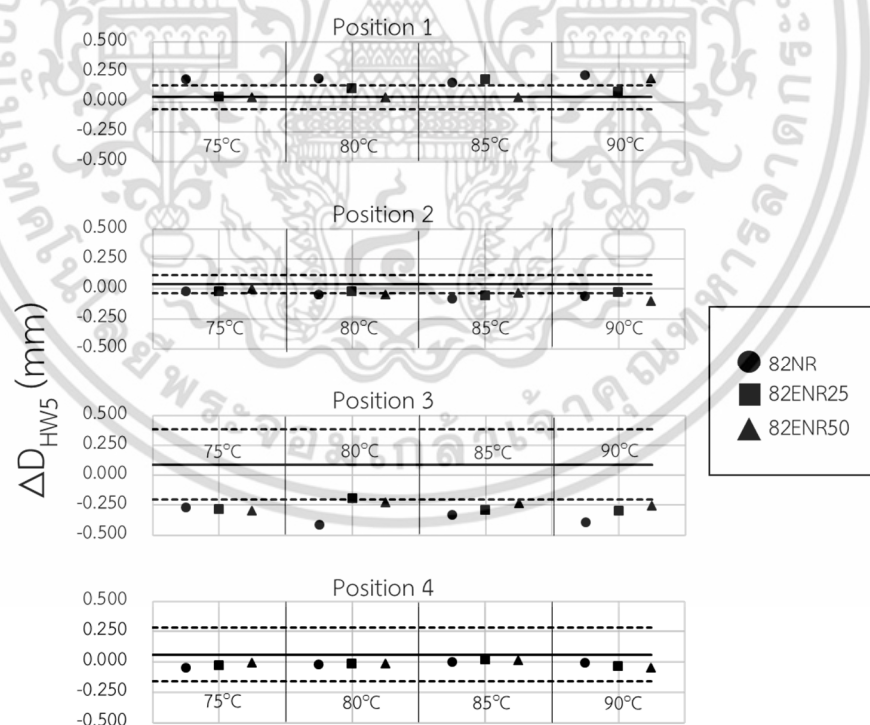
ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการแห้งสัมผัสจากหัวข้อที่ 4.2.3 จะถูกนำมาทดสอบความคงทนต่อการชักล้าง ผลการทดสอบแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.2.6.1 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง

จากรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 แสดงค่า ΔD_{HW1} และค่า ΔD_{HW5} ของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้งตามลำดับ พบว่าค่า ΔD_{HW1} และค่า ΔD_{HW5} ของหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีการขยายตัวในตำแหน่งที่ 1 (วัดขนาดลวดลายตามแนวนอน) และการหดของลวดลายในตำแหน่งที่ 2 กับ 3 (วัดลวดลายตามแนวตั้ง) และตำแหน่งที่ 4 (วัดขนาดลวดลายตามแนวทแยง) ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าฝ้าย 100% หลังการชักล้างเช่นเดียวกับผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1.6.1 อย่างไรก็ตามค่า ΔD_{HW1} และค่า ΔD_{HW5} ส่วนใหญ่ของหมึกพิมพ์ทุกสูตรที่เตรียมได้มีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า



รูปที่ 4.17 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซีก้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 อบที่อุณหภูมิ 75-90 $^{\circ}\text{C}$

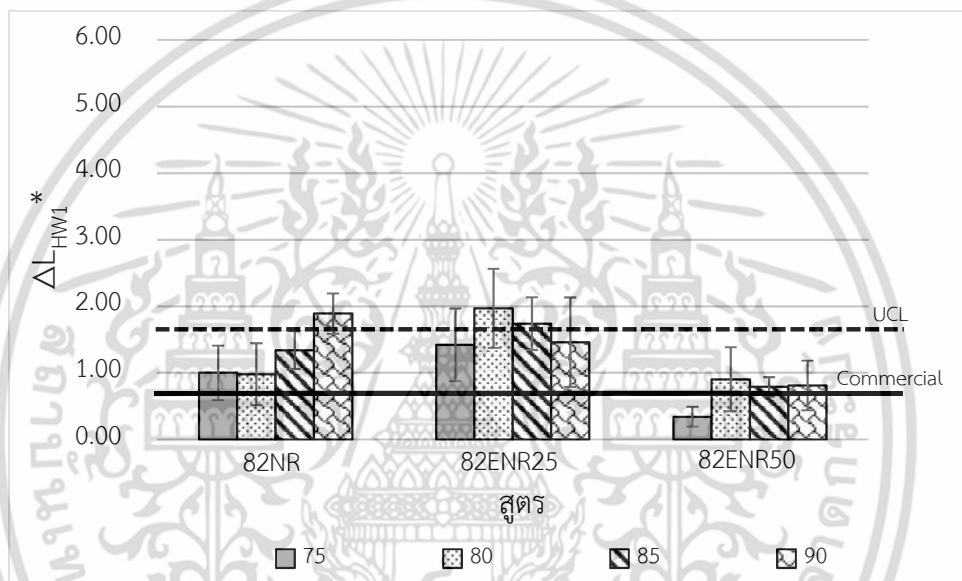


รูปที่ 4.18 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซีก้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 อบที่อุณหภูมิ 75-90 $^{\circ}\text{C}$

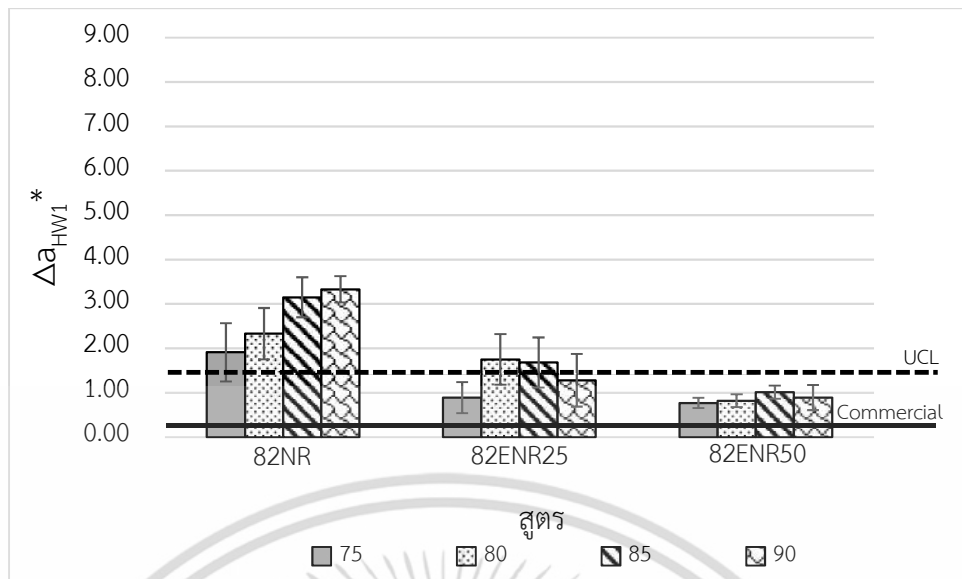
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังการซักล้าง

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้างครั้งที่ 1 โดยค่า ΔL_{HW1}^* มีค่าอยู่ในช่วง 0.34 ถึง 1.97 (รูปที่ 4.19) และ Δa_{HW1}^* มีค่าอยู่ในช่วง 0.82 ถึง 3.33 (รูปที่ 4.20) พบว่าค่า ΔL_{HW1}^* ของหมึกพิมพ์ทุกสูตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า Δa_{HW1}^* ของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์สูตร 82NR อย่างชัดเจน และมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เนื่องจากความมีขี้ของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพ็อกซีไดซ์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้หมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุที่มีขี้ได้ดีกว่า



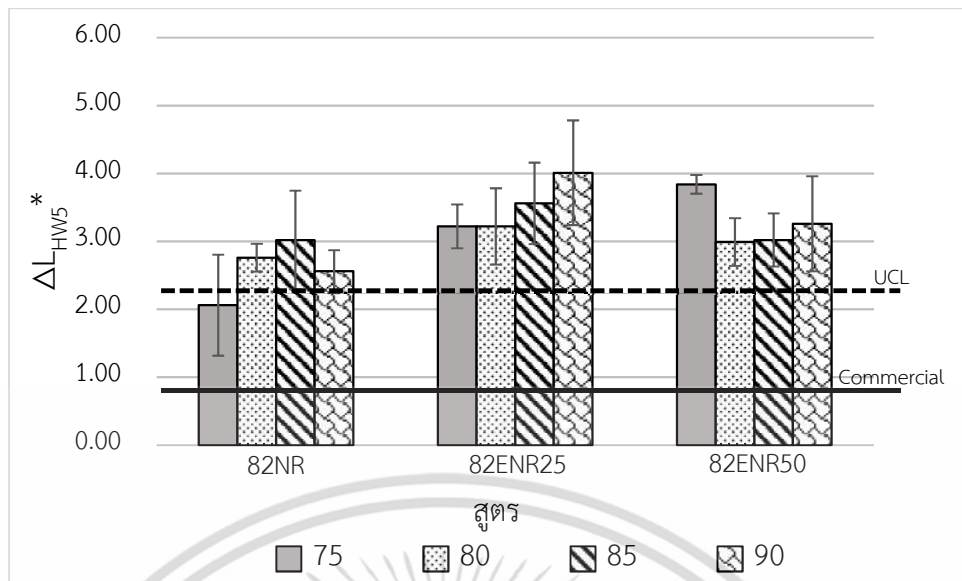
รูปที่ 4.19 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 1 ครั้งกับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW1}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C



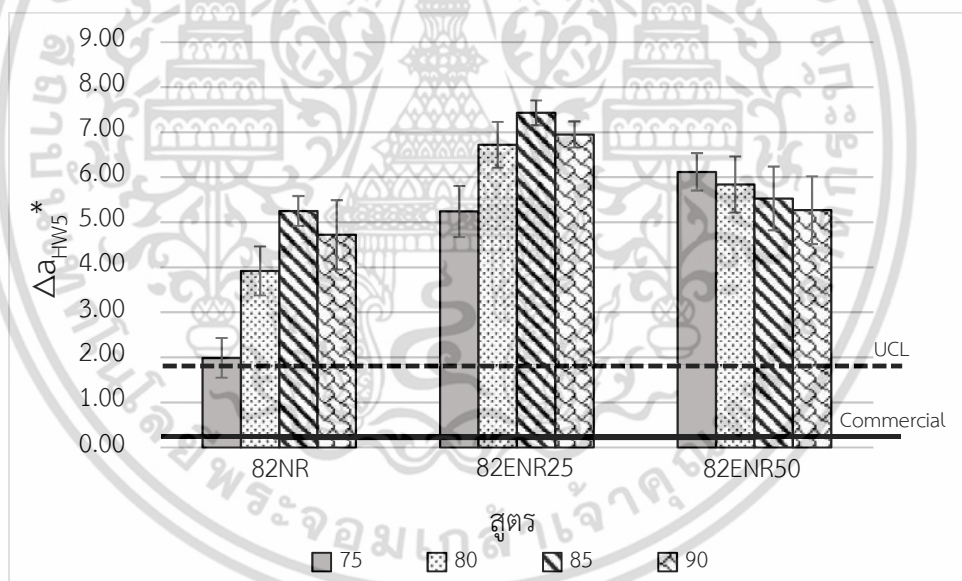
รูปที่ 4.20 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW1}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 ค่า ΔL_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง 1.01 ถึง 5.23 และค่า Δa_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าอยู่ในช่วง 2.97 ถึง 7.43 ตามลำดับ โดยค่า ΔL_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับหมึกพิมพ์สูตร 82NR และค่า Δa_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 และ 82ENR50 มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับหมึกพิมพ์สูตร 82NR และมีค่าใกล้เคียงช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เนื่องจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นของหมึกพิมพ์ช่วยให้หมึกพิมพ์สามารถยึดเกาะกับผ้าซึ่งเป็นวัสดุที่มีขี้ได้ดีขึ้น เมื่อผ่านการซักล้างหมึกพิมพ์จึงไม่หลุดออกจากผ้าและทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้างที่น้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซักล้างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 5 พบว่าค่า ΔL_{HW5}^* และ Δa_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีค่าเพิ่มขึ้นจากการซักล้าง 1 ครั้ง ซึ่งเกิดจากการพองจางสีจากน้ำยาซักล้าง และค่า ΔL_{HW5}^* และ Δa_{HW5}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลทุกสูตรหลังการซักล้าง 5 ครั้ง มีค่ามากกว่าค่าควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้าแสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลมีความทนทานต่อการซักล้าง 5 ต่อยกกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า

ดังนั้นการปรับปรุงโดยการเพิ่มขี้ของยางโดยการเปลี่ยนชนิดของยางจาก EVA/NR เป็น EVA/ENR ช่วยเพิ่มความทนทานต่อการซักล้างของหมึกพิมพ์ได้ โดยยาง ENR มี %Epoxidation ที่มากหรือมีขี้มากช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างหมึกพิมพ์กับผ้าได้โดยหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้างที่น้อยที่สุด แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างและการมีสีแดงซีดลงหลังการซักล้าง 5 ครั้ง ยังคงมากกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า งานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงหมึกพิมพ์ด้วยการผสมสารริเริ่มการเชื่อมโยง (BPO) เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการซักล้างให้กับหมึกพิมพ์พลาสติกซอลแสดงดังหัวข้อถัดไป ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้งกับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C



รูปที่ 4.22 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW5}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82NR, 82ENR25 และ 82ENR50 ที่อุณหภูมิ 75-90°C

4.3 การปรับปรุงหมึกพิมพ์พลาสติกซอลโดยการเติม BPO เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยง

จากการศึกษาหมึกพิมพ์ EVA/NR และ EVA/ENR พบว่ามีความทนทานหลังการชักล้างที่ต่ำกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้าสังเกตได้จากหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้มีการเปลี่ยนแปลงสีหลังการชักล้าง 5 ครั้งที่มากกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า จึงพัฒนาหมึกพิมพ์ด้วยการใส่สารริเริ่มเชื่อมโยง BPO เพื่อเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติดังกล่าว โดยทำการผสม BPO ในเนื้อหมึกพิมพ์ก่อนทำการสกรีนเนื่องจาก BPO มีอุณหภูมิในการสลายตัวที่ 70°C จึงสามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระทำให้เกิดการเชื่อมโยงภายในยางที่ตำแหน่งอะไลลิกไฮโดรเจนส่งผลให้ยางมีเสถียรภาพทางรูปร่างมากขึ้นและอาจช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่าง EVA กับ EVA หรือ EVA กับยางได้อีกด้วย เนื่องจากการเชื่อมโยงด้วยระบบเปอร์ออกไซด์สามารถเชื่อมโยงยางที่ไม่มีพันธะคู่ได้ [30] การเชื่อมโยงระหว่างเนื้อพอลิเมอร์ในหมึกพิมพ์พลาสติกชอลคาดว่า จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางรูปร่างหลังการอบให้ความร้อนและหลังการชักล้าง และลดการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์หลังการชักล้างได้ โดยศึกษาผลของปริมาณ BPO ที่ 1 และ 10 phr เลือกศึกษาสูตรหมึกพิมพ์ EVA/Rubber ที่อัตราส่วน 80/20

4.3.1 ความหนืดของหมึกพิมพ์

เมื่อนำหมึกพิมพ์พลาสติกชอลสูตร 82NR 82ENR25 และ 82ENR50 มาผสม BPO และนำมาวัดความหนืดได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลที่มีและไม่มี BPO

สูตร	ปริมาณ BPO (phr)	ความหนืดหลังผสม BPO (cP)
82NR	-	24,900*
82NRB1	1	23,300
82NRB10	10	24,100
82ENR25	-	9,600*
82ENR25B1	1	9,500
82ENR50	-	11,600*
82ENR50B1	1	10,000

หมายเหตุ ความหนืดของสูตร * ไม่เท่ากับหัวข้อที่ 4.2.1 เนื่องจากการผสมหมึกพิมพ์คนละรอบ

จากตารางที่ 4.8 พบว่าความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกชอลที่มีและไม่มี BPO มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งกรณี BPO ที่ 1 และ 10 phr เนื่องจาก BPO ยังไม่แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระจึงยังไม่เกิดการเชื่อมโยงในหมึกพิมพ์จึงทำให้ความหนืดก่อนและหลังผสมมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการผสมและปริมาณ BPO ที่ใช้ในงานวิจัยไม่ส่งผลต่อความหนืดของหมึกพิมพ์พลาสติกชอล

4.3.2 สมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกชอล

หมึกพิมพ์พลาสติกชอลสูตร 82NRB1 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 ซึ่งมีส่วนผสมของ BPO นำมาทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC ดังแสดงในตารางที่ 4.9

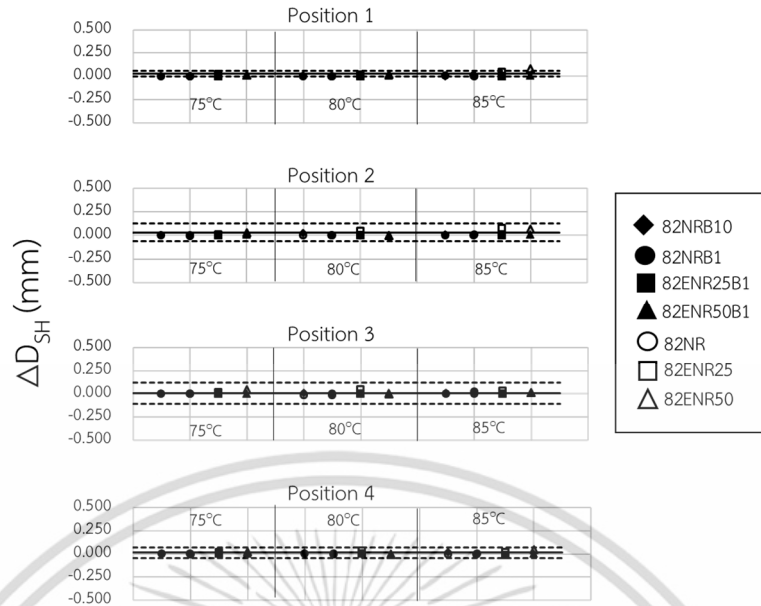
ตารางที่ 4.9 ค่า T_m และ T_c ขององค์ประกอบในหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ผสม BPO

สูตร	Frist Run		Second Run	
	T_m ($^{\circ}\text{C}$)		T_m ($^{\circ}\text{C}$)	
	DOP	ESO	DOP	ESO
82NRB1	-78	-23	-78	-23
82ENR25	-78	-23	-78	-23
82ENR50	-78	-23	-78	-23

จากผลการทดสอบทางความร้อนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้ในตารางที่ 4.9 พบว่าหมึกพิมพ์ทุกสูตรมีค่า T_m ของ DOP ที่อุณหภูมิประมาณ -78°C และ T_m ของ ESO ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -23°C ในการให้ความร้อนรอบแรก (Frist Run) แต่จากการให้ความร้อนในรอบที่ 2 (Second Run) พบว่าความสูงพีค T_m ของ ESO ลดลงและมีความกว้างมากขึ้นคาดว่า ESO เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ที่หมู่ไอพอกไซตโนโครงสร้างทำให้เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติของโมเลกุล ESO ทำให้เอกลักษณ์ทางความร้อนในช่วง T_m ของ ESO เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตามไม่พบพีคเอกลักษณ์ทางความร้อนของพอลิเมอร์จึงไม่อาจยืนยันการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ในเนื้อหมึกพิมพ์หลังการได้รับความร้อนได้

4.3.3 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อน

เมื่อนำหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่เตรียมได้ไปสกรีนบนผ้าฝ้ายและอบด้วยความร้อนที่ $75-80^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 วินาทีแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.23 พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลทั้ง 4 สูตรที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการผสม BPO มีความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อนที่ดี สังเกตจากค่า ΔD_{5H} ของหมึกพิมพ์ที่ผสม BPO มีค่าต่ำใกล้เคียง 0 และมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่ผสม BPO น่าจะเกิดการเชื่อมโยงเมื่อให้ความร้อน ทำให้หมึกพิมพ์มีความหนืดมากขึ้นส่งผลให้เคลื่อนที่ได้น้อยลง หมึกพิมพ์ที่ผสม BPO จึงมีความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อนที่ดีกว่าหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO



รูปที่ 4.23 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการสกรีน กับหลังอบให้ความร้อน (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO อบที่อุณหภูมิ 75-85°C

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังอบให้ความร้อน

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างการเปลี่ยนแปลงของสีของหมึกพิมพ์หลังการอบกับหลังการสกรีนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ผสมและไม่ผสม BPO โดยค่า ΔL_{SH}^* (รูปที่ 4.24) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ถูกปรับปรุงด้วยการเติม BPO มีค่าอยู่ในช่วง -1.09 ถึง 1.52 โดยค่าบวกหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างเพิ่มขึ้นและค่าเป็นลบหมายถึงหมึกพิมพ์มีความสว่างน้อยลงหลังอบให้ความร้อน ซึ่งค่า ΔL_{SH}^* ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า แสดงให้เห็นว่าค่าความสว่างของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลทุกสูตรหลังอบให้ความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน และค่า Δa_{SH}^* (รูปที่ 4.25) ของหมึกพิมพ์สูตรที่ผสม BPO มีค่าอยู่ในช่วง 0.61 ถึง 5.24 โดยเมื่อเปรียบเทียบหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสมและผสม BPO 1 phr พบว่าที่อุณหภูมิ 85°C หมึกพิมพ์ทุกสูตรมีค่า Δa_{SH}^* ที่มากเนื่องจากหมึกพิมพ์มีความหนืดลดลงเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นหมึกพิมพ์จึงไหลลงรูปพรุนของผ้าได้มากขึ้น นอกจากนี้หมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82ENR25B1 มีค่า Δa_{SH}^* ลดลงเมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์ก่อนผสม BPO เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนเกิดการเชื่อมโยงในหมึกพิมพ์บางส่วนทำให้ห่วงการไหลของหมึกพิมพ์ลงในรูปพรุนของผ้าได้มากขึ้น แต่หมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 มีค่า Δa_{SH}^* ไม่แตกต่างกับหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO (82ENR50) เนื่องจากหมึกพิมพ์สูตรดังกล่าวเป็นหมึกพิมพ์ที่มีขี้ผึ้งมากซึ่งเกิดอันตรกิริยากับผ้าทำให้เนื้อหมึกพิมพ์เกาะอยู่บนผิวหน้าผ้าได้มาก ส่วนหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 มีค่า Δa_{SH}^* ที่ใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO (82NR) เนื่องจากหมึกพิมพ์มีความหนืดสูงทำให้ห่วงการไหลลงในรูปพรุนของผ้าเมื่อได้รับความร้อนเนื้อหมึกพิมพ์ติดอยู่บนผิวผ้ามากจึงไม่แสดงความแตกต่างของค่า Δa_{SH}^* เมื่อพิจารณาปริมาณของ BPO ที่ถูกเติมในหมึกพิมพ์ 1 และ 10

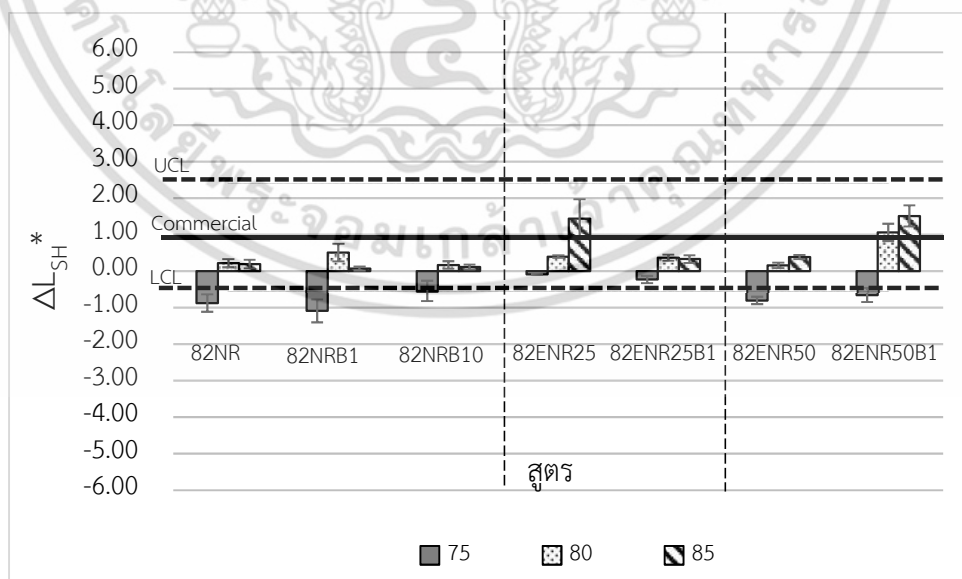
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δa_{SH}^* มากกว่าหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 และ 82NR และมีค่ามากกว่าช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า อาจเกิดจาก BPO มีโครงสร้างที่สามารถเกิดสีเหลืองได้ [54] จึงทำให้สีมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งยืนยันได้จากการเปลี่ยนแปลงเฉดสีน้ำเงิน-เหลืองหลังอบให้ความร้อน (Δb_{SH}^*) จากตารางที่ 4.10 โดยค่า Δb_{SH}^* มีค่าเป็นลบหมายถึงสีมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางสีเหลืองมากขึ้น พบว่าค่า Δb_{SH}^* มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อปริมาณ BPO เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณ BPO มากขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีหลังได้รับความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อมีปริมาณ BPO มาก (10 phr) ค่าการเปลี่ยนแปลงสีจึงมากขึ้น ทั้งนี้จากผลแสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์สูตร 82NRB10 มีการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีหลังการอบที่มากกว่าหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 และ 82NR ดังนั้นหมึกพิมพ์สูตร 82NRB10 จึงไม่ถูกนำไปทดสอบการทนทานต่อการซักล้างในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.10 ค่า Δb_{SH}^* ของหมึกพลาสติกซอลที่ไม่มีผสมและผสม BPO ที่ 1 และ 10 phr อบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

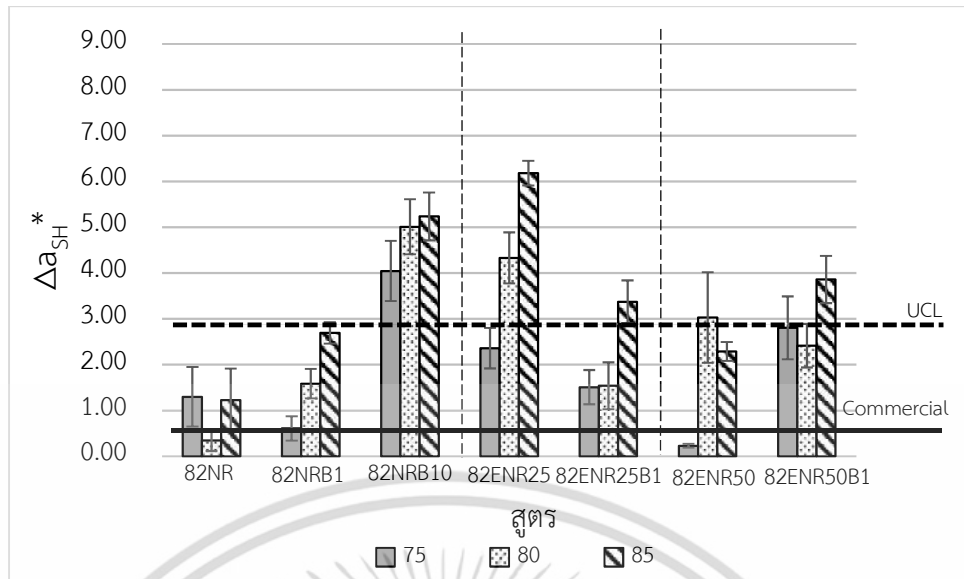
สูตร	Δb_{SH}^*		
	75°C	80°C	85°C
82NR	-0.35±0.74	-0.30±0.35	-0.70±0.97
82NRB1	-0.45±0.26	-0.57±0.02	-1.36±0.80
82NRB10	-0.95±0.63	-1.92±0.21	-2.52±1.29

หมายเหตุ ค่า Δb_{SH}^* = $b_s^* - b_H^*$ แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำเงิน (-100) ถึงสีเหลือง (100)



รูปที่ 4.24 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบกับหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 75-85°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

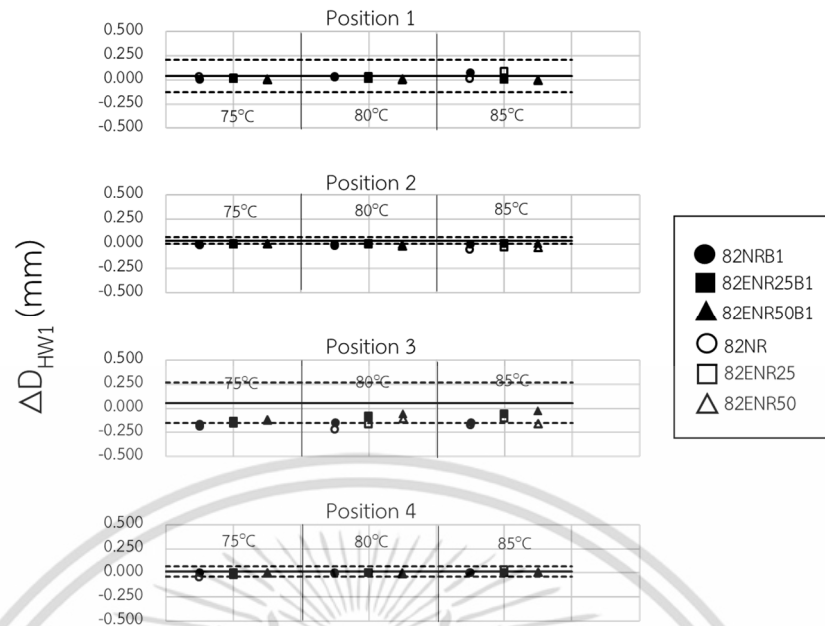


รูปที่ 4.25 ผลต่างระหว่างแอสซีชีแว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 75-85°C

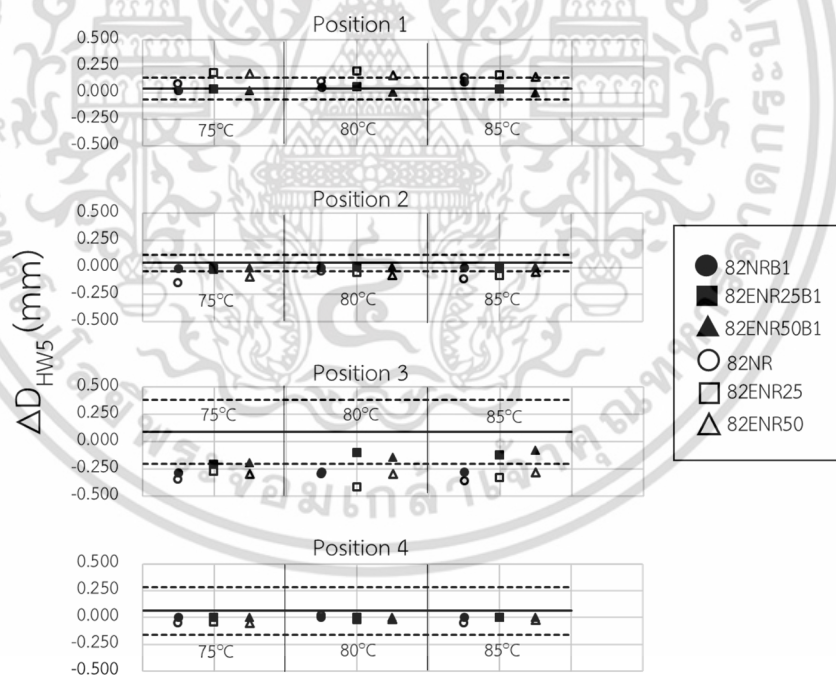
4.3.5 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง

จากรูปที่ 4.26 พบว่าหมึกพิมพ์ที่ผสมและไม่ผสม BPO หลังการชักล้างครั้งที่ 1 มีค่า ΔD_{HW1} ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า และมีการหดและขยายของลวดลายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าที่มีการหดตัวในแนวตั้งจากการชักล้างครั้งที่ 1 สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงลวดลายหยาบ ณ ตำแหน่งที่ 3 (ลายแนวตั้ง) และสามารถสังเกตการหดและขยายของลวดลายและผ้ามากขึ้นเมื่อผ่านการชักล้าง 5 ครั้ง และจากรูปที่ 4.27 หลังการชักล้างครั้งที่ 5 พบว่าค่า ΔD_{HW5} ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลเกรดการค้า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหมึกพิมพ์ที่ทำการผสมและไม่ผสม BPO พบว่าที่ตำแหน่งที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นลายหยาบ หมึกพิมพ์ที่ปรับปรุงด้วย BPO มีค่า ΔD_{HW5} ต่ำกว่าและมีค่าใกล้เคียง 0 มากกว่าหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO แสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์ที่ผสม BPO มีความคมชัดหลังการชักล้าง 5 ครั้งที่ดีกว่าหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่ผสม BPO อาจมีบางส่วนที่ได้รับการเชื่อมโยงเมื่อได้รับความร้อนจากการอบจึงทำให้หมึกพิมพ์มีเสถียรภาพทางรูปร่างหลังการชักล้างเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 75°C หมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 พบการหลุดออกของเนื้อหมึกพิมพ์ (รูปที่ 4.28) เกิดจากปริมาณหมู่อีพอกไซด์ (Epoxyde Group) ในยาง ENR ที่มาก (50%) ซึ่งหมู่อีพอกไซด์มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา [52] ทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้มากโครงสร้างมีความแข็งมากขึ้นหน่วงการไหลของหมึกพิมพ์ลงในเนื้อผ้าเมื่อได้รับความร้อน มีความเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิในการอบที่ 75°C มีความร้อนไม่เพียงพอ จึงทำให้หมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ไหลเข้าไปในรูพรุนของเนื้อผ้าฝ้ายได้น้อยและพบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์จากผ้าหลังการชักล้าง เนื่องจากการเกิดการยึดติดเชิงกลระหว่างหมึกพิมพ์กับผ้าที่น้อยกว่าสูตรอื่น ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิในการอบให้ความร้อนที่มากกว่า 75°C เวลา 30 วินาที

เอกสารนี้ในการอบผ้าเพื่อทดสอบต่อไปการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

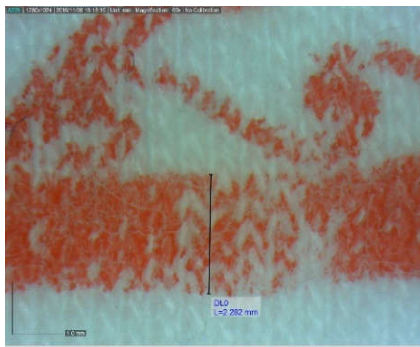


รูปที่ 4.26 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซีก้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO อบที่อุณหภูมิ 75-85°C



รูปที่ 4.27 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการซีก้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO อบที่อุณหภูมิ 75-85°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การหลุดออกของหมึกพิมพ์หลังผ่านการชักล้าง 5 ครั้งของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 อบที่อุณหภูมิ 75°C

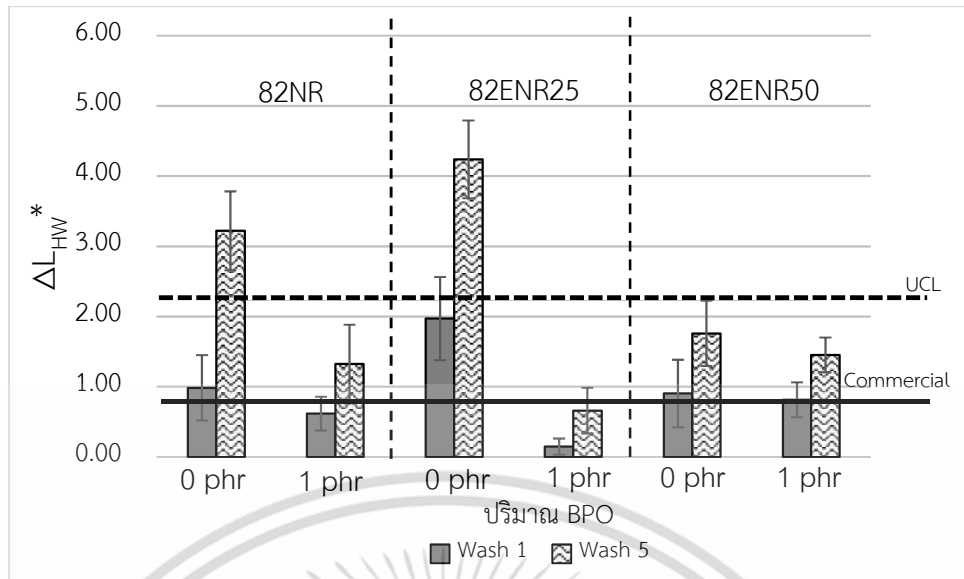
4.3.6 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกขอลบนผ้าหลังการชักล้าง

จากผลการทดสอบหมึกพิมพ์พลาสติกขอลหลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้ง พบว่าที่อุณหภูมิการอบที่ 80°C เป็นอุณหภูมิที่น้อยที่สุดในการทำให้เกิดการเชื่อมโยงและไหลเข้าไปเซตตัวในรูพรุนของผ้า นอกจากนี้จากผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีหมึกพิมพ์หลังการชักล้างพบว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 85°C มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์หลังการชักล้างที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงใช้ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีที่อุณหภูมิการอบที่ 80°C เป็นตัวเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.29 และ 4.30

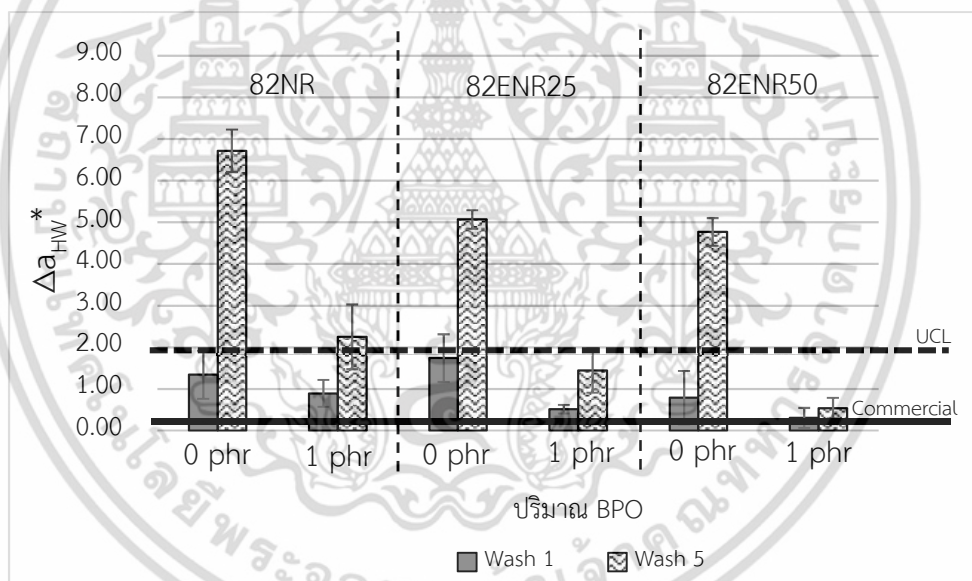
จากผลต่างการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (รูปที่ 4.29) และผลต่างการเปลี่ยนแปลงเฉดสีเขียว-แดง (รูปที่ 4.30) ของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้ง ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าค่า ΔL_{HW}^* และค่า Δa_{HW}^* หลังการชักล้างครั้งที่ 1 มีค่าน้อยกว่าค่าการเปลี่ยนแปลงหลังการชักล้างครั้งที่ 5 เนื่องจากหมึกพิมพ์ถูกพอกจางสีโดยน้ำยาชักล้างมากขึ้นตามจำนวนรอบการชักล้างหมึกพิมพ์จึงแสดงค่าความคงทนหลังการชักล้างต่ำลง นอกจากนี้ค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างและเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์ที่ผสม BPO มีค่าน้อยกว่าหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO และมีค่าใกล้เคียงและอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้ามากขึ้น คาดว่าเป็นผลจากการเกิดการเชื่อมโยงในเนื้อหมึกพิมพ์บางส่วนทำให้โครงสร้างของหมึกพิมพ์มีความแข็งแรงมากขึ้น น้ำยาชักล้างจึงดึงเม็ดสีออกจากเนื้อหมึกพิมพ์ได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามการยืนยันการเกิดการเชื่อมโยงของหมึกพิมพ์ในกรณีมี BPO 1 phr ด้วยการทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค DSC ดังในหัวข้อที่ 4.3.2 ยังไม่สามารถพิสูจน์การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้

ดังนั้นการปรับปรุงโดยการผสม BPO ในเนื้อหมึกพิมพ์ส่งผลให้หมึกพิมพ์มีความทนทานต่อการชักล้าง 5 ครั้งได้ดีขึ้นและมีค่าที่อยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้ามากขึ้นโดยเฉพาะหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ที่มีชีวิตมากที่สุด เกิดจากการที่เติม BPO อาจทำให้เกิดการเชื่อมโยงในเนื้อหมึกพิมพ์ แต่ทำให้หมึกพิมพ์หลุดลอกได้ง่ายขึ้นเนื่องจากการไหลลงรูพรุนของผ้าที่ต่ำกว่าหมึกพิมพ์ที่ไม่ผสม BPO ที่สามารถไหลลงรูพรุนของผ้าได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามการผสม BPO

เอกสารนี้ในปริมาณที่มากจนเกินไป (10 phr) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีหลังอบให้ความร้อนที่มาก ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 1 และ 5 ครั้งกับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 4.30 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการซักล้าง 1 และ 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่มีและไม่มี BPO ที่อุณหภูมิ 80°C

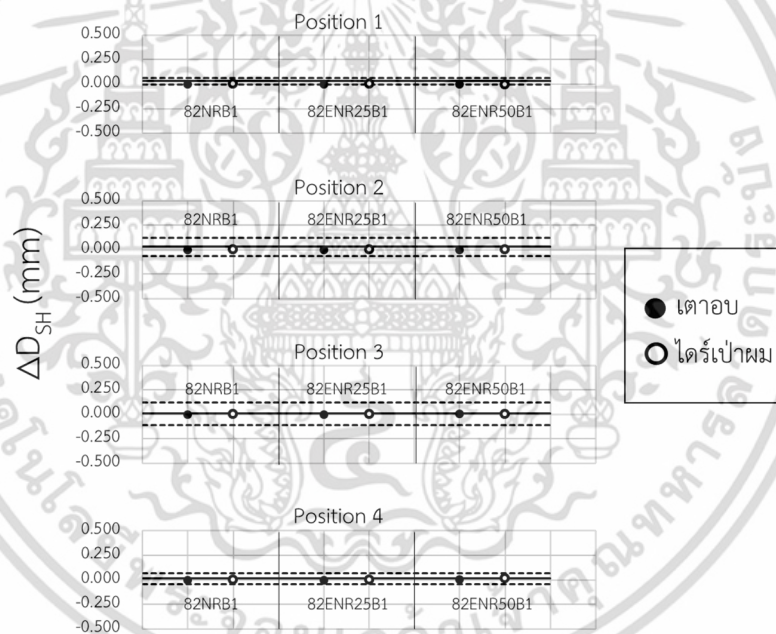
4.4 การปรับเปลี่ยนชนิดของเครื่องให้ความร้อน

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ปรับปรุงโดยการเติม BPO เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยง (82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1) มีความคมชัดของลวดลายและมีความคงทนหลังการซักล้าง 5 ครั้งที่ดีที่สุด จึงนำหมึกพิมพ์สูตรดังกล่าวมาทำการทดสอบการแห้งสัมผัส ความคมชัดของลวดลายและความทนทานหลังการซักล้าง โดยปรับเปลี่ยนเครื่องให้ความร้อนจากเตาอบเป็นไดร์เป่าลมเปรียบเทียบกับการใช้เตาอบที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 30 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินาที เนื่องจากได้เป่าลมเป็นอุปกรณ์ที่ทำได้ง่ายและใช้งานง่าย โดยทำการตั้งระยะห่างได้เป่าลมให้ห่างจากชิ้นงานประมาณ 15 เซนติเมตร เมื่อวัดอุณหภูมิลมร้อนจากได้เป่าลม ณ ระยะห่างจากผ้า 15 เซนติเมตร พบว่ามีอุณหภูมิประมาณ 80°C ซึ่งทำให้เกิดการแห้งสัมผัสของหมึกพิมพ์ได้

4.4.1 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อน

จากรูปที่ 4.31 แสดงผลต่างระหว่างลวดลายหลังการสกรีนกับหลังอบให้ความร้อนโดยใช้ได้เป่าลม พบว่าค่า ΔD_{SH} ของหมึกพิมพ์ที่ใช้ได้เป่าลมให้ความร้อนมีค่าต่ำและมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เตาอบให้ความร้อน และมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า เนื่องจากความร้อนที่ได้จากได้เป่าลมมีอุณหภูมิเท่ากับการใช้เตาอบให้ความร้อนที่ 80°C ดังนั้นคาดว่าค่าความหนืดและทิศทางการไหลของหมึกพิมพ์เมื่อให้ความร้อนด้วยอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดน่าจะมีลักษณะคล้ายกัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับเปลี่ยนแหล่งให้ความร้อนโดยควบคุมให้อุณหภูมิเท่าเดิม (80°C) ไม่ส่งผลต่อความคมชัดของลวดลาย

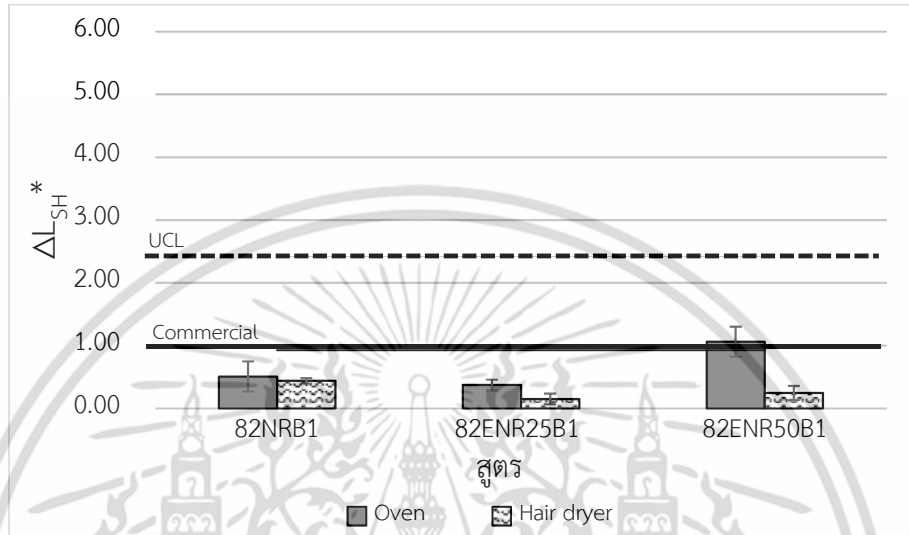


รูปที่ 4.31 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการสกรีน กับหลังอบให้ความร้อน (ΔD_{SH}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนด้วยเตาอบและได้เป่าลมที่อุณหภูมิ 80°C

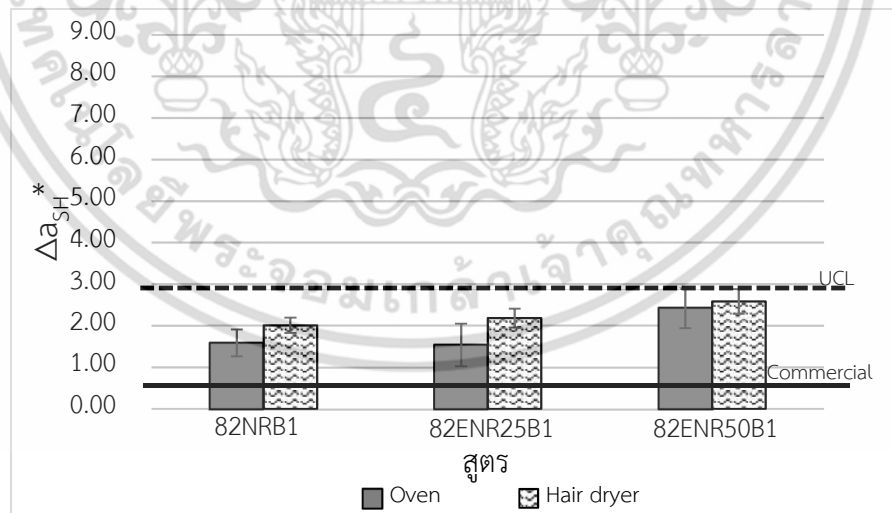
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังอบให้ความร้อน

จากรูปที่ 4.32 และ 4.33 แสดงผลการวัดสีของหมึกพิมพ์หลังการอบกับหลังการสกรีน พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่แห้งสัมผัสโดยใช้ได้เป่าลมให้ความร้อนมีค่า ΔL_{SH}^* อยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.44 ซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำใกล้เคียงค่า ΔL_{SH}^* หมึกพิมพ์ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเตาอบ (0.37 ถึง 1.17) ที่อุณหภูมิ 80°C และมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า นอกจากนี้ค่า Δa_{SH}^* ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่แห้งสัมผัสโดยใช้ได้เป่าลมให้ความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 2.01 ถึง 2.59 ซึ่งมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในช่วงเดียวกันกับค่า Δa_{SH}^* ของหมึกพิมพ์ที่ใช้เตาอบให้ความร้อน (1.54 ถึง 2.42) และมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า จากผลการทดสอบสีหลังการให้ความร้อนแสดงให้เห็นว่าการใช้ไดร์เป่าผมเป็นเครื่องให้ความร้อนทำให้หมึกพิมพ์มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีหลังอบให้ความร้อนที่ไม่แตกต่างการใช้เตาอบให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนที่หมึกพิมพ์ได้รับมีอุณหภูมิที่เท่ากัน (80°C)



รูปที่ 4.32 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมึกพิมพ์หลังการอบกับหลังการสกรีน (ΔL_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบ และไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C

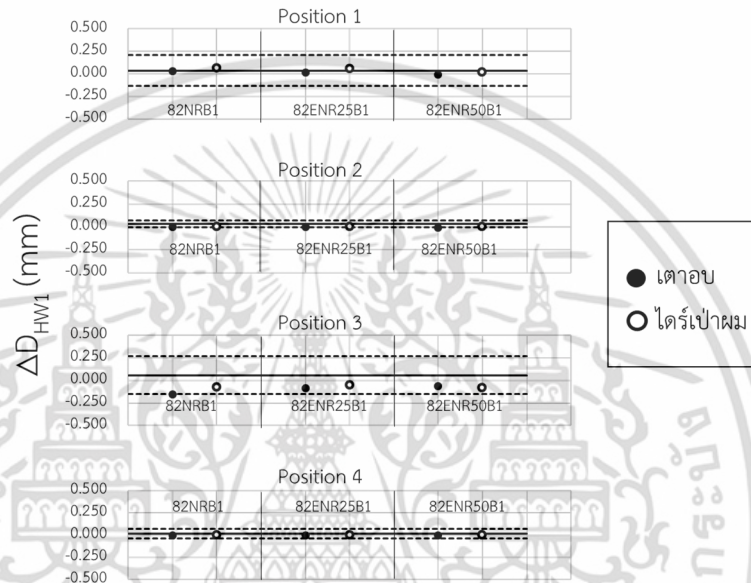


รูปที่ 4.33 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมึกพิมพ์หลังการอบ กับหลังการสกรีน (Δa_{SH}^*) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบ และไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

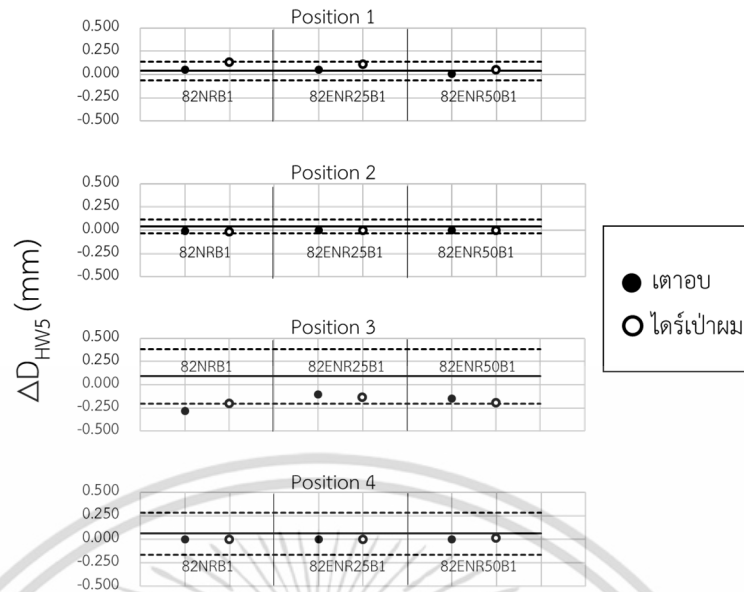
4.4.3 การวัดความคมชัดของลวดลายหลังการชักล้าง

ผลการทดสอบความคมชัดของลวดลายหลังการชักล้างครั้งที่ 1 แสดงในรูปที่ 4.34 พบว่าหลังการชักล้างครั้งที่ 1 หมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ถูกให้ความร้อนโดยไตร์เป่าผมมีค่า ΔD_{HW1} ต่ำและอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า นอกจากนี้ไม่พบการหลุดออกของลวดลายหลังการชักล้างครั้งที่ 1 ทำให้ทราบว่า การให้ความร้อนความร้อนที่ 80°C โดยการใช้ไตร์เป่าผมมีความสามารถทำให้หมึกพิมพ์พลาสติกซอลนั้นคงรูปอยู่บนเนื้อผ้า และสามารถทนการชักล้าง 1 ครั้งได้ในเบื้องต้น

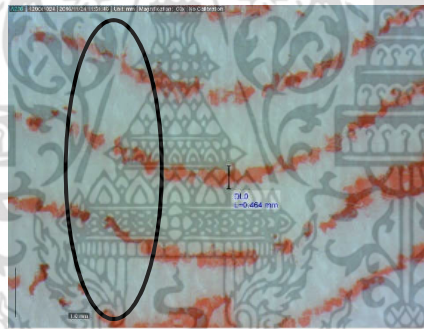


รูปที่ 4.34 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 1 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW1}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C และไตร์เป่าผม

จากรูปที่ 4.35 พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ถูกปรับปรุงด้วยการผสม BPO ทุกสูตรเมื่อผ่านการชักล้าง 5 ครั้ง มีค่า ΔD_{HW5} ที่อยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลเกรดการค้า และมีค่าใกล้เคียงกับการให้ความร้อนโดยใช้เตาอบ อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตร 82ENE50B1 มีการหลุดออกของเนื้อหมึกพิมพ์ในตำแหน่งที่ 2 (รูปที่ 4.36) เนื่องจากการใช้ไตร์เป่าผมเป็นการให้ความร้อนในระบบเปิดอาจเกิดการกระจายของความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ บางบริเวณของชิ้นงานจึงอาจได้รับความร้อนไม่ถึง 80°C ทำให้เนื้อหมึกพิมพ์สูตรดังกล่าวในบริเวณที่ได้รับความร้อนไม่ถึง 80°C มีความหนืดมากและไหลลงในรูพรุนของผ้าได้น้อยและเกิดการยึดติดเชิงกลน้อยจึงเกิดการหลุดลอกจากการชักล้าง โดยเฉพาะบริเวณขอบของชิ้นงาน (บริเวณลวดลายตำแหน่งที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.4 ที่พบการหลุดลอกของเนื้อหมึกพิมพ์จากผ้าที่อุณหภูมิในการอบต่ำกว่า 80°C



รูปที่ 4.35 ผลต่างระหว่างลวดลายหลังการชักล้าง 5 ครั้ง กับหลังการอบ (ΔD_{HW5}) ของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนด้วยเตอบที่อุณหภูมิ 80°C และไตร่เป่าลม



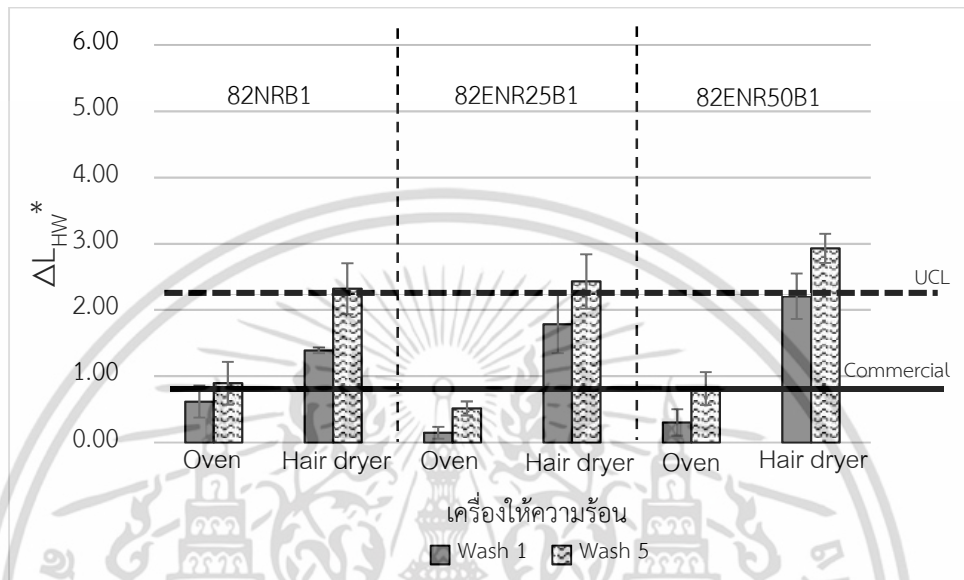
รูปที่ 4.36 การหลุดออกของเนื้อหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ให้ความร้อนด้วยไตร่เป่าลมหลังผ่านการชักล้าง 5 ครั้ง

4.4.4 การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลบนผ้าหลังการชักล้าง

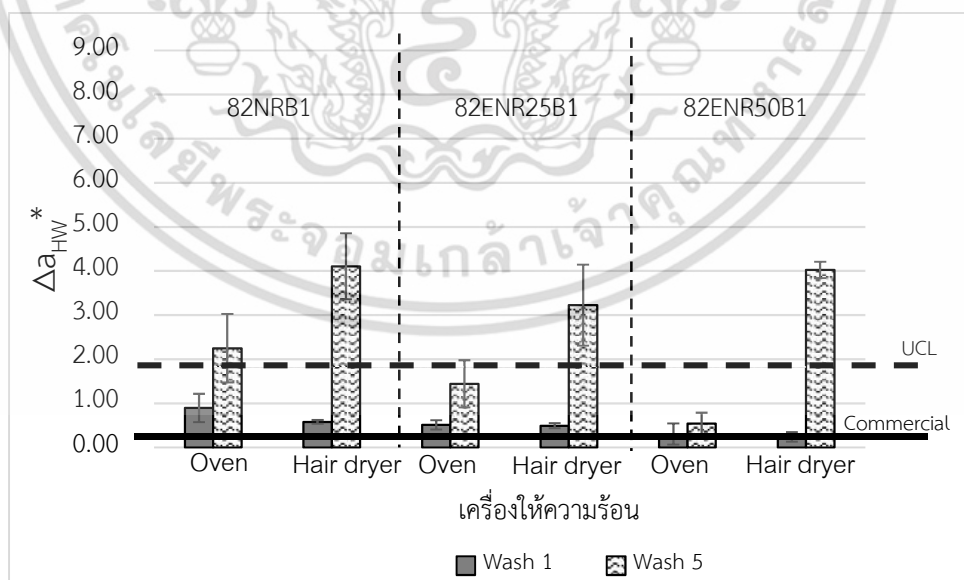
จากรูปที่ 4.37 และ 4.38 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ได้รับความร้อนโดยการใช้ไตร่เป่าลมเปรียบเทียบกับการใช้เตอบหลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้ง พบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ได้รับความร้อนโดยการใช้ไตร่เป่าลมมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างหลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้งที่มากกว่า หมึกพิมพ์ที่ได้รับความร้อนโดยการใช้เตอบที่อุณหภูมิ 80°C แต่ค่า Δa_{HW1}^* อยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.49 ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงเฉดสีเขียว-แดงของของหมึกพิมพ์พลาสติกซอลที่ได้รับความร้อนโดยการใช้ไตร่เป่าลมเปรียบเทียบกับการใช้เตอบหลังการชักล้าง 1 และ 5 ครั้ง แสดงให้เห็นว่าการใช้ไตร่เป่าลมให้ความร้อนหมึกพิมพ์มีความคงทนต่อการชักล้างต่ำกว่าการใช้เตอบให้ความร้อน เนื่องจากการให้ความร้อนโดยใช้ไตร่เป่าลมเป็น

การให้ความร้อนในระบบเปิดอุณหภูมิที่ขึ้นงานได้รับบางบริเวณอาจต่ำกว่า 80°C ทำให้หมึกพิมพ์ไหล
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ในการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงในรูปทรงของเนื้อผ้าได้น้อยและมีการเชื่อมโยงที่ต่ำ ทำให้น้ำยาซักล้างสามารถเคลื่อนย้ายเม็ดสีออกจากเนื้อหมักพิมพ์ได้ง่ายสังเกตจากน้ำหลังการซักล้างที่มีสีแดง ดังนั้นการให้ความร้อนในระบบเปิดควรต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมในการใช้งานเพิ่มเติมเพื่อลดความแตกต่างของความร้อนที่ให้กับชิ้นงาน



รูปที่ 4.37 ผลต่างระหว่างความสว่างของหมักพิมพ์หลังการซักล้าง 1 และ 5 ครั้งกับความสว่างหลังการอบ (ΔL_{HW1}^* และ ΔL_{HW5}^*) ของหมักพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบและไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 4.38 ผลต่างระหว่างเฉดสีเขียว-แดงของหมักพิมพ์หลังการซักล้าง 1 และ 5 ครั้ง กับหลังการอบ (Δa_{HW1}^* และ Δa_{HW5}^*) ของหมักพิมพ์พลาสติกซอลสูตรที่ผสม BPO ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบและไดร์เป่าผมที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การใช้หมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กกับวัสดุรองรับชนิดต่าง ๆ

การพิมพ์สกรีนนั้นสามารถพิมพ์ลงวัสดุได้หลากหลายชนิด โดยปัจจัยที่มีผลต่อการสกรีนวัสดุต่าง ๆ เช่น โครงสร้างทางเคมีของวัสดุ ลักษณะการทอของผ้า และขนาดของเส้นใย เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อขนาดรูพรุนและความหนาของผ้าชนิดนั้น ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 ซึ่งเป็นสูตรหมึกพิมพ์ที่มีความทนทานหลังการซักล้างที่ดีมาสกรีนลงบนวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ กระจาดอาร์ตมัน, ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70, ผ้าไนลอน และผ้าเส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยใช้เวลาในการอบ 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 80°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้หมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กทุกสูตรมีความทนทานต่อการซักล้างที่ดีที่สุด ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.39 ถึง 4.42

โดยรูปที่ 4.39 แสดงภาพชิ้นงานกระจาดอาร์ตมันที่ถูกสกรีนด้วยหมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กสูตรต่าง ๆ ก่อนและหลังอบให้ความร้อน พบว่าหลังอบให้ความร้อนหมึกพิมพ์พลาสติกชอล์ก หมึกพิมพ์มีการไหลและมีการขยายตัวของลวดลาย แต่หมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กไม่ยึดติดอยู่บนกระจาด แม้ว่าจะไม่พบการซีดจางสีของหมึกพิมพ์ เนื่องจากกระจาดชนิดนี้มีการเคลือบพื้นผิวจึงทำให้หมึกพิมพ์ไม่สามารถไหลลงรูพรุนของกระจาดและเกิดการยึดติดแข็งกลได้ สรุปได้ว่าหมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กที่ผลิตได้นั้นไม่เหมาะกับการใช้งานบนกระจาดชนิดนี้

รูปที่ 4.41 แสดงภาพชิ้นงานผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70 ที่ถูกสกรีนโดยหมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กสูตรต่าง ๆ ก่อนและหลังอบให้ความร้อนที่ 80°C โดยผ้าชนิดนี้มีขนาดของเส้นใยที่เล็กจึงสามารถทอได้ละเอียด (มีปริมาณเส้นใยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มาก) และมีความบางมากกว่าผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40 โดยหลังจากผ่านการอบให้ความร้อนพบว่าลวดลายของหมึกพิมพ์พลาสติกชอล์กทุกสูตรมีความคมชัดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า แต่สีของหมึกพิมพ์จางลงเล็กน้อยเนื่องจากหมึกพิมพ์เกิดการไหลลงไปในรูพรุนของผ้าได้ดีและสังเกตเห็นการซึมลงไปถึงอีกด้านของผ้า เพราะเนื้อผ้ามีความบาง (ความหนาของผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40 และ 70 คือ 0.65 และ 0.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ) โดยรูปที่ 4.44 แสดงภาพถ่ายด้านหลังชิ้นงานผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70 และ 40 ที่ถูกสกรีนและอบที่อุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 4.39 ภาพชิ้นงานกระดาษอาร์ตมันของพลาสติกซอลสูตร 82NRB1, 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 หลังอบให้ความร้อนที่ 80°C ของหมึกพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 ภาพถ่ายด้านหลังชิ้นงานผ้าฝ้าย 100% ที่ถูกสกรีนและอบที่อุณหภูมิ 80°C : ก) ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70 และ ข) ผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 40

จากรูปที่ 4.41 และ 4.42 แสดงภาพชิ้นงานผ้าไนลอนและผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ถูกสกรีนโดยหมึกพิมพ์พลาสติกชนิดสูตรต่าง ๆ ก่อนและหลังอบให้ความร้อนที่ 80°C ตามลำดับ พบว่ามีผลการทดสอบที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือหมึกพิมพ์พลาสติกชนิดสูตรหลังได้รับความร้อนแล้วพบว่าการขยายตัวของลวดลายที่ชัดเจนและมีสีของหมึกพิมพ์ที่ซีดลงหลังการอบให้ความร้อนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า เนื่องจากผ้าไนลอนและพอลิเอสเตอร์มีความบาง (ความหนาของผ้าไนลอนและพอลิเอสเตอร์มีค่า 0.18 และ 0.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ) หมึกพิมพ์จึงสามารถไหลเข้าไปในรูพรุนของผ้าได้มากเกิดการแผ่และขยายตัวของเนื้อหมึกพิมพ์และสามารถซึมลงในเนื้อผ้าอีกด้านอย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.44 ซึ่งผลการทดสอบมีความคล้ายกันกับการสกรีนลงบนผ้าฝ้าย 100% เบอร์ 70 ที่มีความบางของเนื้อผ้าเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายด้านหลังชิ้นงานผ้าไนลอนและพอลิเอสเตอร์ที่ถูกสกรีนและอบให้ความร้อนที่ 80°C : ก) ผ้าไนลอน และ ข) ผ้าพอลิเอสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การประเมินความพึงพอใจการใช้งานของหมึกพลาสติกซอลสำหรับงานพิมพ์สกรีน

จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่าหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจำนวน 3 สูตร คือ 82NRB1, 82ENRB1 และ 82ENR50B1 ให้ผลการทดสอบเสถียรภาพทางรูปร่างและความคงทนหลังการซักล้างที่ดีและใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า ดังนั้นจึงนำหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตรดังกล่าวมาทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้านการพิมพ์สกรีน โดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง (5 คน) และนักศึกษาสาขาภาพพิมพ์ (5 คน) วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งหมดรวม 10 คน โดยแบ่งระดับความพึงพอใจในระดับ 1-5 โดย

- 5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด
- 4 หมายถึง พึงพอใจมาก
- 3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
- 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย
- 1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

และหาค่าเฉลี่ยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.11

จากตารางที่ 4.11 แสดงระดับความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญต่อสมบัติต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตร ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์

1.1 ความข้นหรือความหนืดของหมึกพิมพ์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า หมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตรมีระดับความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญอยู่ที่ระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

1.2 ความละเอียดของเนื้อหมึกพิมพ์ พบว่า หมึกพิมพ์ทุกสูตรได้รับระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

1.3 กลิ่นของหมึกพิมพ์ พบว่า หมึกพิมพ์ทุกสูตรได้รับระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

2. สมบัติเฉพาะของหมึกพิมพ์เมื่อใช้กับผ้าสกรีนที่มีความละเอียด 90T เส้นต่อนิ้ว

2.1 หมึกพิมพ์มีความหนืดเหมาะสมกับการพิมพ์ พบว่า หมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 และ 82ENR50B1 ได้รับค่าความพึงพอใจใกล้เคียง 5.0 (4.9-5.0) จากผู้เชี่ยวชาญ แต่หมึกพิมพ์สูตร 82ENR25B1 ได้รับค่าความพึงพอใจเฉลี่ยที่ 4.1

2.2 หมึกพิมพ์สามารถใช้ได้กับผ้าสกรีนที่มีความละเอียด พบว่า หมึกพิมพ์ทุกสูตรได้รับระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

2.3 ใช้กับแบบลายพิมพ์ที่มีลายละเอียดสูงและให้ความคมชัดของงานพิมพ์ งานลายเส้นและเม็ดสกรีนที่ละเอียด พบว่า หมึกพิมพ์ทุกสูตรได้รับระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

2.4 หมึกพิมพ์ไม่แห้งตัวที่อุณหภูมิห้อง แม่พิมพ์สกรีนไม่อุดตัน พบว่า หมึกพิมพ์ทุกสูตรได้รับเอกสารนี้ระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0) เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หมักพิมพ์สามารถล้างออกจากแม่พิมพ์สกรีนด้วยน้ำมันสนหรือน้ำมันชักแห้ง พบว่า หมักพิมพ์ทุกสูตรได้รับระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

3. สมบัติของหมักพิมพ์บนผ้า cotton 100 %

3.1 การติดของหมักพิมพ์ตามลวดลายของแม่พิมพ์สกรีนหลังการสกรีนบนผ้าเบอร์ 40 พบว่า หมักพิมพ์สูตร 82NRB1 และ 82ENR25B1 ได้รับค่าความพึงพอใจมากที่สุด (5.0) จากผู้เชี่ยวชาญ แต่หมักพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ได้รับค่าความพึงพอใจเฉลี่ยที่ 4.6

3.2 การติดของหมักพิมพ์ตามลวดลายของแม่พิมพ์สกรีนหลังการสกรีนบนผ้าเบอร์ 70 พบว่า หมักพิมพ์สูตร 82NRB1 และ 82ENR25B1 ได้รับค่าความพึงพอใจมากที่สุด (5.0) จากผู้เชี่ยวชาญ แต่หมักพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ได้รับค่าความพึงพอใจเฉลี่ยที่ 4.6

3.3 หมักพิมพ์บนชิ้นงานแห้งโดยการอบใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 140°C พบว่าหมักพิมพ์สูตร 82NRB1 และ 82ENR50B1 ได้รับค่าความพึงพอใจเกิน 4.0 (4.9 และ 4.1 ตามลำดับ) แต่หมักพิมพ์สูตร 82ENR25B1 ได้รับค่าความพึงพอใจต่ำกว่า 4.0 (3.4)

3.4 หมักพิมพ์มีความยืดหยุ่นที่ดีบนงานพิมพ์บนผ้า พบว่า หมักพิมพ์ทุกสูตรได้รับระดับความพึงพอใจในระดับพึงพอใจมากที่สุด (5.0)

จากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ประเมินที่มีต่อหมักพิมพ์พลาสติกซอลทั้ง 3 สูตร ในลักษณะทางกายภาพของหมักพิมพ์ พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจกับลักษณะทางกายภาพของหมักพิมพ์สูตร 82NRB1 มากที่สุดรองลงมาคือ 82ENR50B1 และ 82ENR25B1 ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับหมักพิมพ์สูตร 82NRB1 ว่าเป็นหมักพิมพ์ที่มีความเหนียวที่ดีแต่ไม่ยังพึงพอใจในเรื่องสีของหมักพิมพ์หลังอบให้ความร้อน และสำหรับหมักพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจกับสีของหมักพิมพ์หลังการอบให้ความร้อนเมื่อสังเกตรด้วยตาเปล่าแต่ไม่พึงพอใจกับความเหนียวของหมักพิมพ์ในขั้นตอนการสกรีน สรุปจากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญพบว่าควรปรับความเหนียวของหมักพิมพ์สูตร 82ENR50B1 เพิ่มขึ้น เพราะหมักพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ได้รับค่าความพึงพอใจในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสีของหมักพิมพ์ นอกจากนี้หมักพิมพ์สูตรดังกล่าวมีเสถียรภาพทางรูปร่างหลังการอบและหลังการซักล้างที่ดี รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงสีหลังผ่านการซักล้าง 5 ครั้งที่ดีที่สุดและใกล้เคียงกับหมักพิมพ์เกรดการค้า

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ประเมินที่มีต่อหมึกพิมพ์พลาสติกสูตรต่าง ๆ

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	82NRB1	82ENR25B1	82ENR50B1
1. ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์			
1.1 ความชื้นหรือความหนืดของหมึกพิมพ์ที่อุณหภูมิห้อง	5.0	5.0	5.0
1.2 ความละเอียดของเนื้อหมึกพิมพ์	5.0	5.0	5.0
1.3 กลิ่นของหมึกพิมพ์	5.0	5.0	5.0
2. สมบัติเฉพาะของหมึกพิมพ์เมื่อใช้กับผ้าสกรีนที่มีความละเอียด 90T เส้นต่อนิ้ว			
2.1 หมึกพิมพ์มีความหนืดเหมาะสมกับการพิมพ์	4.9±0.3	4.1±0.3	5.0
2.2 หมึกพิมพ์สามารถใช้ได้กับผ้าสกรีนที่มีความละเอียด	5.0	5.0	5.0
2.3 ใช้กับแบบลายพิมพ์ที่มีลายละเอียดสูงและให้ความคมชัดของงานพิมพ์ งานลายเส้นและเม็ดสกรีนที่ละเอียด	5.0	5.0	5.0
2.4 หมึกพิมพ์ไม่แห้งตัวที่อุณหภูมิห้อง แม่พิมพ์สกรีนไม่อุดตัน	5.0	5.0	5.0
2.5 หมึกพิมพ์สามารถล้างออกจากแม่พิมพ์สกรีนด้วยน้ำมันสนหรือน้ำมันชักแห้ง	5.0	5.0	5.0
3. สมบัติของหมึกพิมพ์บนผ้า cotton 100 %			
3.1 การติดของหมึกพิมพ์ตามลวดลายของแม่พิมพ์สกรีนหลังการสกรีนบนผ้าเบอร์ 40	5.0	5.0	4.6±0.5
3.2 การติดของหมึกพิมพ์ตามลวดลายของแม่พิมพ์สกรีนหลังการสกรีนบนผ้าเบอร์ 70	5.0	5.0	4.6±0.5
3.3 หมึกพิมพ์บนชิ้นงานแห้งโดยการอบใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 140°C	4.9±0.3	3.4±0.5	4.1±0.3
3.4 หมึกพิมพ์มีความยืดหยุ่นที่ดี บนงานพิมพ์บนผ้า	5.0	5.0	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์พลาสติกสำหรับงานพิมพ์สกรีนโดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/NR ในอัตราส่วน 90/10, 80/20 และ 70/30 (เรียกชื่อสูตรว่า 91NR, 82NR และ 73NR ตามลำดับ) ปริมาณองค์ประกอบของหมึกพิมพ์คือ พอลิเมอร์:DOP:ESO เป็น 1:4:3 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- หมึกพิมพ์พลาสติกสูตร 91NR, 82NR และ 73NR มีค่าความหนืดใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 26,600-30,800 cP ซึ่งมีความหนืดน้อยกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า (> 40,000 cP) แต่ยังสามารถสกรีนได้เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า โดยมีความคมชัดของลวดลายหลังการสกรีนใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า นอกจากนี้คุณสมบัติในการอบชิ้นงานและเกิดการแห้งสัมผัสในเวลา 30 วินาที ของหมึกพิมพ์ทุกสูตร คือ 75°C ลวดลายหลังอบให้ความร้อนมีความคมชัดดี แม้ว่าลวดลายมีการขยายเล็กน้อยหลังการอบ (ค่า ΔD_{SH} มีค่าบวก) จากความหนืดของหมึกพิมพ์ที่มีค่าต่ำกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้าแต่ค่า ΔD_{SH} มีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า

- จากการทดสอบความคงทนหลังการซักล้าง 1 ครั้ง พบว่าหมึกพิมพ์สูตร 73NR มีความคงทนต่อการซักล้างต่ำที่สุดเพราะมีการหลุดลอกของเนื้อหมึกพิมพ์ ในขณะที่หมึกพิมพ์สูตร 91NR และ 82NR ไม่พบการหลุดลอกของเนื้อหมึกพิมพ์แสดงว่ามีการยึดติดที่ดี และจากการทดสอบความคงทนจากการซักล้าง 5 ครั้ง พบว่าผ้ามีการขยายและหดตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของลวดลายตามขนาดของผ้า และมีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีที่มากกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้าแสดงถึงความคงทนหลังการซักล้าง 5 ครั้ง ของหมึกพิมพ์ที่ต่ำกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า

2. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA/NR และ EVA/ENR (EVA/ENR25 และ EVA/ENR50) โดยใช้อัตราส่วน EVA/ยาง เป็น 80/20 พบว่า

- ความหนืดของ 82ENR25 และ 82ENR50 มีค่าในช่วง 18,800 ถึง 20,000 cP ซึ่งต่ำกว่าความหนืดของหมึกพิมพ์สูตร 82NR (28,000 cP) เป็นผลจากความยาวสายโซ่โมเลกุลของ ENR25 และ ENR50 มีค่าต่ำกว่า NR จากการผ่านปฏิกิริยาการอีพอกซิเดชัน นอกจากนี้คุณสมบัติในการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ EVA/ENR อยู่ในช่วงอุณหภูมิเดียวกับหมึกพิมพ์ EVA/NR อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์ EVA/ENR มีความคมชัดของลวดลายหลังอบให้ความร้อนน้อยกว่าและการเปลี่ยนแปลงเฉดสีหลังอบให้ความร้อนมากกว่าเมื่อเทียบกับหมึกพิมพ์ EVA/NR เนื่องจากหมึกพิมพ์ EVA/ENR มีความหนืดน้อยกว่าเมื่อได้รับความร้อนจากการอบจึงมีการไหลทั้งในแนวตั้งลงรูปของผ้าและการขยายออกด้านข้างที่มากกว่าหมึกพิมพ์ EVA/NR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบความคงทนหลังการชักล้างพบว่าหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของหมึกพิมพ์หลังการชักล้างที่น้อยกว่าสูตร 82NR อย่างมีนัยสำคัญ เพราะ EVA/ENR เป็นหมึกพิมพ์ที่มีแนวโน้มทำให้เกิดการยึดติดกับผ้าฝ้ายได้ดีขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 หลังการชักล้าง 5 ครั้งยังมีค่ามากกว่าหมึกพิมพ์เกรดการค้า

3. การใช้สารริเริ่มการเชื่อมโยง BPO (ปริมาณ 1 phr และ/หรือ 10 phr) ในหมึกพิมพ์ที่อัตราส่วน EVA/ยาง เป็น 80/20 ได้ผลสรุปดังนี้

- ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่มีและไม่มี BPO ไม่แตกต่างกัน โดยหมึกพิมพ์ที่เติม BPO ทุกสูตรมีความคมชัดหลังอบให้ความร้อนที่ดี (ΔD_{SH} มีค่าต่ำ) และมีค่าอยู่ในช่วงควบคุมของหมึกพิมพ์เกรดการค้า อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ BPO ในปริมาณมาก (82NRB10) ทำให้หมึกพิมพ์มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีอย่างชัดเจน

- อุณหภูมิในการอบให้ความร้อนที่ต่ำสุดที่ไม่พบการหลุดออกของหมึกพิมพ์จากการชักล้าง 5 ครั้ง คือ 80°C เวลา 30 วินาที ค่าความคมชัดของลวดลายหลังการชักล้าง 5 ครั้ง ของหมึกพิมพ์ที่ผสม BPO มีค่าใกล้เคียง 0 มากขึ้น นอกจากนี้การใช้ BPO ปริมาณ 1 phr ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีแดงของหมึกพิมพ์หลังการชักล้าง 5 ครั้ง อย่างชัดเจน โดยหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 มีการเปลี่ยนแปลงสีหลังการชักล้าง 5 ครั้งที่น้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เกรดการค้า

4. การปรับเปลี่ยนเครื่องให้ความร้อนจากเตาอบเป็นไดร์เป่าผมโดยทำการทดสอบหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 82ENR25B1 และ 82ENR50B1 พบว่า การใช้ไดร์เป่าผมให้ความร้อนหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สูตรมีความคมชัดของลวดลายและการเปลี่ยนแปลงเฉดสีที่ใกล้เคียงกันกับการใช้เตาอบ แต่การให้ความร้อนด้วยไดร์เป่าผมทำให้ชิ้นงานได้รับความร้อนไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงานจึงมีบริเวณขอบของลวดลายที่หลุดจากการชักล้าง และมีการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์หลังการชักล้างของหมึกพิมพ์มากกว่าหมึกพิมพ์ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเตาอบ

5. เมื่อทำการปรับเปลี่ยนวัสดุรองรับที่ใช้สกรีน พบว่าหมึกพิมพ์เมื่อถูกสกรีนสามารถแห้งสัมผัสและมีความคมชัดของลวดลายที่ดีที่สุดในผ้าฝ้าย 100% เมื่อเทียบกับวัสดุรองรับอื่น ๆ เช่น กระดาษอาร์ตมัน ผ้าไนลอน และผ้าพอลิเอสเตอร์

6. จากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญพบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจกับความหนืดของหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 มากกว่าสูตรอื่น ๆ และหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุดในเรื่องเฉดสีของหมึกพิมพ์หลังอบให้ความร้อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการปรับปรุงหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 ให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดความพึงพอใจในการใช้งานทั้งในเรื่องเฉดสีและความหนืด

2. ศึกษาผลของปริมาณ (0-1 phr) และสถานะของสารริเริ่มการเชื่อมโยง BPO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับเปลี่ยนชนิดของสารริเริ่มการเชื่อมโยงจากสารประเภท Peroxide (BPO) เป็นสารริเริ่มการเชื่อมโยงประเภทอื่น เช่น AIBN เป็นต้น
4. ใส่สารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เช่น สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) เป็นต้น
5. เปลี่ยนชนิดของพลาสติกไซเซออร์เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ไม่มีหมู่พทาเลต (Non-Phthalate Plasticizer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรา ชัยนิตย์. 2539. “การพิมพ์สกรีน Screen printing.” กรุงเทพมหานคร : วิทยาลัยช่างศิลป์.
- [2] วิเชียร จิระกรานนท์และนางเยาว์ จิระกรานนท์. 2546. “การพิมพ์สกรีน Screen Print Techniques.” พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : อุษาการพิมพ์.
- [3] W.V. Titow. 1990. “PVC Plastics : Properties, Processing and Applications.” London : Elsevier.
- [4] X. Zheng, L. Tang, N. Zhang, Q. Gao, C. Zhang and Z. Zhu. 2003. “Dehydrochlorination of PVC Materials at High Temperature.” Energy & Fuels. 17 : 896-900.
- [5] ธนาคม ไวยติดตอ, ศิริวรรณ ปิ่นสกุล และสรชา สมบัติภัทรโชค. 2554. “การพัฒนาสีพลาสติกขอลจาก EVA สำหรับงานพิมพ์สกรีน.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] ChemicalBook. 2010. “Ethylene-vinyl acetate copolymer.” [Online]. Available : http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB0356004.htm.
- [7] Chemicallyland21. 2011. “EPOXIDIZED SOYBEAN OIL.” [Online]. Available : <http://chemicallyland21.com/industrialchem/plasticizer/EPOXIDIZED%20SOYBEAN%20OIL.htm>.
- [8] อรุณศักดิ์ โสภณธรรมภาณ. 2554. “พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) : การปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร.” [Online]. Available : <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a1.shtml>.
- [9] S.G. Luzon. 1992. “Hazards in the chemical laboratory.” Cambridge : Royal Society of Chemistry.
- [10] L.J. Richard. 2012. “SAX'S Dangerous Properties of Industrial Materials.” Hoboken : John Wiley.
- [11] สอป. 2543. “มาตรฐานสารเคมีในอากาศและดัชนีวัดทางชีวภาพ.” กรุงเทพมหานคร : นำอักษรการพิมพ์.
- [12] C.E. Carraher. 2013. “Introduction to polymer chemistry.” 3rd ed. New York : CRC press Taylor & Francis Group.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] J.E. Bara and T.K. Carlisle. 2009. “**Solubility parameter.**” [Online]. Available : <http://baike.baidu.com/view/4301557.htm>.
- [14] ศิริวรรณ ปิ่นสกุล. 2557. “**การพัฒนาหมึกพิมพ์พลาสติกขอลจาก EVA/EVOH และ EMA/EVOH สำหรับงานพิมพ์สกรีน.**” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีพอลิเมอร์, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] R. W. Halle. 1989. “**New Ethylene-Methyl Acrylate Copolymer for Multilayer Flexible Packaging Application.**” Journal of Plastic Film and Sheeting. 5 : 59-65.
- [16] M. Kim, C. Park, S. R. Chowdhury and G. Kim. 2004. “**Physical Properties of Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVA)/Natural Rubber (NR) Blend Based Foam.**” Journal of Applied Polymer Science. 94 : 2212–2216.
- [17] K. Pongtanayut, C. Thongpin and O. Santawitee. 2013. “**The Effect of Rubber on Morphology, Thermal Properties and Mechanical properties of PLA/NR and PLA/ENR blends.**” Energy Procedia. 34 : 888–897.
- [18] PrintcasPrinting Chemical and Services. 2556. “**สีพลาสติกขอล.**” [Online]. Available : http://printcas.com/index.php?route=product/product&product_id=53.
- [19] Chemicalland 21. 2011. “**DIOCTYL PHTHALATE.**” [Online]. Available : <http://chemicalland21.com/industrialchem/plasticizer/DOP.htm>.
- [20] NSLT National Institute of standard and Technology. 2011. “**Di- n- octyl phthalate.**” [Online]. Available : <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=117-84-0>.
- [21] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. 2552. “**สารให้สี.**” เคมีพอลิเมอร์ โครงการตำรา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 340-343.
- [22] A. Vogel. 2005. “**Anthraquinone dyes.**” [Online]. Available : <http://en.wikipedia.org/wiki/Anthraquinone>.
- [23] American Society for Microbiology. 2004. “**Azo dyes.**” [Online]. Available : <http://aem.asm.org/content/70/4/2279/F1.expansion.html>.
- [24] Alliance Organics LLP. 2013. “**Azo pigment.**” [Online]. Available : <http://www.dyespigments.net/pigments-for-water-based-inkjet-inks.html>.
- [25] Screen Room. 2558. “**สกรีนเสื้อด้วยวิธีทรานเฟอร์ความร้อน.**” [Online]. Available : <http://www.thaiscreenroom.com/สกรีนเสื้อด้วยวิธีทรานเฟอร์ความร้อน/>.

- [26] Nonvisual. 2556. “การพิมพ์สกรีนขั้นพื้นฐาน 1 สี.” [Online]. Available : <http://www.nonvisual.com/2013/08/1.html>.
- [27] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2554. “เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคโพลิเมอร์.” [Online]. Available: http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=82&Itemid=176&limit=1&limitstart=1.
- [28] Food wiki. 2011. “EVA Ethylene Vinyl Acetate.” [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/EVA>.
- [29] The staff of Modern Plastics Magazine. 1994. “Plastics Handbook.” New York : McGraw-Hill.
- [30] อิทธิพล แจ่มชัด. 2544. “เอกสารประกอบการสอน วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง.” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [31] วิภาวี พัฒนกุล. 2554. “ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์.” [Online]. Available : <http://www.rubberthai.com/book/file/98.pdf>.
- [32] Neoplast. 2553. “ยาง NR.” [Online]. Available : <http://www.neoplast.biz/index.php?lay=show&ac=article&Ntype=1&id=174420>.
- [33] The Coca-Cola Company Patent Department. 1983. “Rubber compounding bags and film made from syndiotactic 1,2-polybutadiene.” EUROPEAN PATENT APPLICATION NO. 0076521 A1.
- [34] ChemicalBook. 2010. “Zinc 2-mercaptobenzothiazole.” [Online]. Available : http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB0150428.htm.
- [35] Sigma-Aldrich. 2015. “Zinc diethyldithiocarbamate.” [Online]. Available : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/329703?lang=en®ion=TH>.
- [36] L.D. Loan. 1972. “PEROXIDE CROSSLINKING REACTIONS OF POLYMERS.” [Online]. Available : <https://www.iupac.org/publications/pac/pdf/1972/pdf/3001x0173.pdf>
- [37] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2547. “สารปรับแต่งพอลิเมอร์ (Polymer Additive).” กรุงเทพฯ : บุกเนต.
- [38] ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. 2545. “พลาสติกไซเซออร์.” [Online]. Available : http://webdb.dmsc.moph.go.t/ifc_toxic/a_txR_search.asp?info_id=146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [39] Multiple Plus. 2011. “**Epoxidized Soybean Oil (ESBO).**” [Online]. Available : <http://www.multipleplus.com/Epoxidized%20Soybean%20Oil.htm>.
- [40] สารานุกรมเสรี. 2554. “**Epoxidized soybean oil /Epoxidized น้ำมันถั่วเหลือง.**” [Online]. Available: http://th.asiaonline.com/article?article=Epoxidized_soybean_oil.
- [41] พิมพ์ชนก ไส้ไทย, สุพันธ์ จรเจนเกียรติ, วัชนิดา ชินผา และวารารภรณ์ ต้นรัตนกุล. 2550. “**การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์.**” กรุงเทพมหานคร : การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ.
- [42] O. Fenollar, D. Garcia, L. Sanchez, J. Lopez and R. Balart. 2009. “**Optimization of the curing conditions of PVC plastisol based on the use of an epoxidized fatty acid ester plasticizer.**” European Polymer Journal. 45 : 2674-2684.
- [43] A. Jiménez, L. Torre and J.M. Kenny. 2001. “**Thermal degradation of poly(vinyl chloride) plastisols based on low – migration polymeric plasticizer.**” Polymer Degradation and Stability. 73 : 447-453.
- [44] Ž. Mrklič and T. Kovačić. 1998. “**Thermogravimetric investigation of volatility of dioctyl phthalate from plasticized poly(vinyl chloride) .**” Thermochemica Acta. 322 : 129-135.
- [45] 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. 94 : 1986–1990.
- [46] P. G. Nihul., S. T. Mhaske. and V. V. Shertukde. 2014. “**Epoxidized rice bran oil (ERBO) as a plasticizer for poly(vinyl chloride) (PVC).**” Iranian Polymer Journal. 23 : 599–608.
- [47] Z. Mohamad, H. Ismail and R. C. Thevy. 2006. “**Characterization of Epoxidized Natural Rubber/Ethylene Vinyl Acetate (ENR-50/EVA) Blend: Effect of Blend Ratio.**” Journal of Applied Polymer Science. 99 : 1504-1515.
- [48] M. K. Yong., H. Ismail., and Z. M. Ariff. 2007. “**Comparison Properties of Natural Rubber (SMR L)/Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Copolymer Blends and Epoxidized Natural Rubber (ENR- 50)/Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Copolymer Blends.**” Polymer-Plastics Technology and Engineering. 46 : 361–366.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [49] B.T. Poh and N.H. Suid. 2016. “Adhesion Properties of Benzoyl Peroxide Crosslinked Epoxidized Natural Rubber (ENR 25) - Based Pressure Sensitive Adhesives.” Journal of Vinyl & Additive Technology. 22 : 8–12.
- [50] ExxonMobil. 2017. “Escorene™ Ultra FL 00728CC Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Resin.” [Online]. Available : <http://exxonmobilchemical.ides.com/enUS/ds243644/Escorene%E2%84%A2%20Ultra%20FL%2000728CC.aspx?l=58933&U=0>.
- [51] Photoscreenprint. 2013. “THE YRGBK DROPLET – COLOR SEPARATING WITH THE LAB MODE.” [Online]. Available : <http://www.photoscreenprint.com/the-yrgbk-droplet-color-separating-with-the-lab-mode/>.
- [52] I. R. Gelling. 1991. “Epoxidised Natural Rubber.” Journal of Natural Rubber Research. 6(3) : 184-205.
- [53] อุดุลย์ ณ วิเชียร, นุชนาฏ ณ ระนอง และ พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์. 2554. “การผลิตยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์จากน้ำยางสด.” [Online]. Available : <http://rubberthai.com/yang/administrator/jour/RRIT-2552-08.pdf>.
- [54] N. D. Patel and M. W. Brown. 1992. “Method and Apparatus for Preventing Yellowing of Benzoyl Peroxide Solution in Acrylic Adhesive.” United States Patent NO. 005171813A.
- [55] ChemicalBook, 2016, “Pigment Red 2.” [Online]. Available : http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB9855070.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ความคมชัดหลังการสกรีนของหมึกพิมพ์พลาสติกซอล

ตารางที่ ก.1 ผลต่างของระยะห่างของลวดลายบนบล็อกลูกสกรีน (D_B) กับระยะห่างของลวดลายบนผ้า
หลังสกรีน (D_S) ($\Delta D_{BS} = D_S - D_B$)

สูตร	ตำแหน่งที่	D_B (mm)	D_S (mm)	ΔD_{BS} (mm)	%การเปลี่ยนแปลง
เกรดการค้า	1	2.217	2.256±0.043	0.039±0.043	1.8
	2	0.348	0.779±0.126	0.457±0.021	131.2
	3	2.500	2.836±0.047	0.352±0.047	14.1
	4	0.520	0.870±0.010	0.350±0.098	67.3
91NR	1	2.217	2.354±0.086	0.137±0.086	6.2
	2	0.348	0.791±0.049	0.443±0.049	127.2
	3	2.500	2.664±0.073	0.164±0.073	6.6
	4	0.520	0.711±0.063	0.191±0.063	36.8
82NR	1	2.217	2.402±0.041	0.185±0.039	8.3
	2	0.348	0.885±0.091	0.537±0.091	154.4
	3	2.500	2.853±0.061	0.353±0.061	14.1
	4	0.520	0.910±0.079	0.390±0.078	75.0
73NR	1	2.217	2.359±0.026	0.142±0.026	6.4
	2	0.348	0.705±0.109	0.357±0.229	102.5
	3	2.500	2.879±0.008	0.379±0.219	15.1
	4	0.520	0.933±0.074	0.413±0.257	79.4

หมายเหตุ %การเปลี่ยนแปลง = $\frac{\Delta D_{BS}}{D_B} \times 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลความคมชัดของลาดตายหลังการได้รับความร้อนเป็นเวลา 30 วินาที

ตารางที่ ข.1 ผลต่างระหว่างระยะห่างลาดตายหลังอบ (D_H) กับระยะห่างลาดตายหลังสกรีน (D_S) ($\Delta D_{SH} = D_H - D_S$)

สูตร	อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่											
		1			2			3			4		
		D_S (mm)	D_H (mm)	ΔD_{SH} (mm)	D_S (mm)	D_H (mm)	ΔD_{SH} (mm)	D_S (mm)	D_H (mm)	ΔD_{SH} (mm)	D_S (mm)	D_H (mm)	ΔD_{SH} (mm)
เกรด การดำ	180	2.256±0.043	2.286±0.052	0.030±0.043	0.779±0.126	0.808±0.097	0.031±0.021	2.836±0.047	2.844±0.153	0.009±0.047	0.870±0.010	0.884±0.080	0.014±0.098
	75	2.354±0.086	2.363±0.094	0.009±0.008	0.791±0.049	0.796±0.051	0.005±0.007	2.664±0.073	2.690±0.117	0.026±0.034	0.711±0.063	0.715±0.067	0.004±0.004
91NR	80	2.368±0.030	2.415±0.051	0.047±0.041	0.911±0.015	0.890±0.085	0.021±0.097	2.776±0.040	2.831±0.061	0.055±0.032	0.851±0.008	0.857±0.009	0.006±0.013
	85	2.381±0.060	2.411±0.117	0.047±0.026	0.885±0.122	0.912±0.120	0.077±0.013	2.793±0.188	2.865±0.216	0.116±0.093	0.852±0.076	0.893±0.107	0.061±0.038
	90	2.325±0.052	2.427±0.067	0.102±0.013	0.649±0.141	0.698±0.036	0.049±0.030	2.625±0.049	2.715±0.107	0.090±0.059	0.708±0.105	0.748±0.072	0.040±0.037
82NR	75	2.402±0.039	2.403±0.041	0.001±0.002	0.885±0.091	0.886±0.091	0.001±0.001	2.853±0.061	2.853±0.061	0.000±0.001	0.910±0.078	0.910±0.079	0.000±0.002
	80	2.398±0.039	2.398±0.039	0.000±0.001	0.773±0.085	0.773±0.085	0.000±0.001	2.853±0.108	2.840±0.093	-0.013±0.023	0.860±0.109	0.859±0.110	-0.001±0.001
	85	2.385±0.047	2.389±0.052	0.004±0.007	0.812±0.093	0.812±0.093	0.000±0.001	2.831±0.054	2.831±0.052	0.000±0.007	0.776±0.047	0.774±0.022	-0.002±0.032
	90	2.424±0.068	2.424±0.068	0.000±0.001	0.713±0.020	0.717±0.015	0.004±0.008	2.779±0.065	2.780±0.064	0.001±0.001	0.703±0.025	0.712±0.018	0.009±0.009

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

สูตร	อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่																								
		1				2				3				4												
		D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	ΔD _{SH} (mm)	D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	ΔD _{SH} (mm)	D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	ΔD _{SH} (mm)	D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	ΔD _{SH} (mm)									
73NR	75	2.359±0.026	2.359±0.0255	0.000±0.001	0.705±0.109	0.705±0.229	0.000±0.001	2.879±0.008	2.866±0.232	0.000±0.001	0.933±0.074	-0.013±0.022	0.001±0.003	2.367±0.115	2.350±0.0860	0.017±0.029	0.786±0.129	0.786±0.129	0.000±0.001	2.904±0.104	2.904±0.104	0.000±0.001	0.900±0.212	0.904±0.217	0.004±0.005	
	80	2.359±0.059	2.358±0.0590	-0.001±0.001	0.597±0.146	0.597±0.147	0.000±0.001	2.797±0.199	2.797±0.199	0.000±0.001	0.876±0.222	0.000±0.001	0.000±0.001	0.000±0.001	2.324±0.041	2.332±0.0561	0.008±0.015	0.550±0.091	0.550±0.091	0.000±0.001	2.711±0.100	2.711±0.101	0.000±0.001	0.665±0.089	0.666±0.092	0.001±0.003
	90	2.397±0.013	2.437±0.029	0.020±0.032	0.808±0.141	0.812±0.145	0.004±0.008	2.668±0.047	2.681±0.045	0.013±0.013	0.859±0.008	0.013±0.013	0.013±0.013	0.016±0.019	2.397±0.013	2.437±0.029	0.020±0.032	0.808±0.141	0.812±0.145	0.004±0.008	2.668±0.047	2.681±0.045	0.013±0.013	0.859±0.008	0.875±0.023	0.016±0.019
82ENR25	80	2.398±0.103	2.410±0.046	0.012±0.146	0.864±0.127	0.911±0.170	0.047±0.045	2.634±0.045	2.676±0.061	0.042±0.037	0.786±0.046	0.042±0.037	0.035±0.047	2.398±0.103	2.410±0.046	0.012±0.146	0.864±0.127	0.911±0.170	0.047±0.045	2.634±0.045	2.676±0.061	0.042±0.037	0.786±0.046	0.821±0.090	0.821±0.090	0.035±0.047
	85	2.381±0.038	2.492±0.045	0.111±0.061	0.761±0.057	0.799±0.065	0.038±0.025	2.599±0.032	2.711±0.066	0.112±0.061	0.684±0.103	0.030±0.042	0.030±0.042	0.015±0.019	2.381±0.038	2.492±0.045	0.111±0.061	0.761±0.057	0.799±0.065	0.038±0.025	2.599±0.032	2.711±0.066	0.112±0.061	0.699±0.097	0.699±0.097	0.015±0.019
	90	2.437±0.084	2.449±0.090	0.012±0.023	0.477±0.013	0.507±0.064	0.030±0.052	2.673±0.109	2.715±0.138	0.042±0.040	0.791±0.038	0.042±0.040	0.042±0.040	0.061±0.085	2.437±0.084	2.449±0.090	0.012±0.023	0.477±0.013	0.507±0.064	0.030±0.052	2.673±0.109	2.715±0.138	0.042±0.040	0.748±0.072	0.772±0.096	0.024±0.035
82ENR50	80	2.451±0.038	2.468±0.093	0.017±0.109	0.845±0.105	0.844±0.111	-0.001±0.083	2.772±0.043	2.775±0.124	0.003±0.085	0.817±0.039	0.003±0.085	0.009±0.042	2.451±0.038	2.468±0.093	0.017±0.109	0.845±0.105	0.844±0.111	-0.001±0.083	2.772±0.043	2.775±0.124	0.003±0.085	0.817±0.039	0.808±0.071	0.808±0.071	0.009±0.042
	85	2.265±0.121	2.348±0.084	0.083±0.157	0.761±0.174	0.829±0.149	0.068±0.027	2.719±0.052	2.732±0.115	0.013±0.068	0.704±0.134	0.013±0.068	0.046±0.038	2.265±0.121	2.348±0.084	0.083±0.157	0.761±0.174	0.829±0.149	0.068±0.027	2.719±0.052	2.732±0.115	0.013±0.068	0.704±0.134	0.750±0.102	0.750±0.102	0.046±0.038
	90	2.398±0.022	2.525±0.051	0.127±0.038	0.829±0.098	0.859±0.104	0.030±0.066	2.669±0.049	2.789±0.054	0.120±0.054	0.663±0.061	0.120±0.054	0.101±0.048	2.398±0.022	2.525±0.051	0.127±0.038	0.829±0.098	0.859±0.104	0.030±0.066	2.669±0.049	2.789±0.054	0.120±0.054	0.663±0.061	0.764±0.014	0.764±0.014	0.101±0.048

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

วัสดุ	อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่															
		1				2				3				4			
		D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)		D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)		D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)		D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	
82NRB1	75	2.372±0.034	2.371±0.034	0.001±0.001	0.551±0.071	0.550±0.071	-0.001±0.001		2.616±0.072	2.616±0.072	0.000		0.647±0.018	0.647±0.018	0.000±0.001		
	80	2.406±0.065	2.406±0.065	0.000±0.000	0.572±0.032	0.572±0.032	0.000		2.754±0.077	2.754±0.078	0.000±0.001		0.705±0.019	0.706±0.019	0.001±0.001		
	85	2.393±0.104	2.398±0.100	0.005±0.007	0.564±0.129	0.576±0.120	0.012±0.012		2.771±0.205	2.798±0.178	0.027±0.036		0.757±0.118	0.764±0.113	0.007±0.012		
82NR25B1	ไตร้เป่า	2.367±0.045	2.371±0.039	0.004±0.008	0.473±0.015	0.473±0.015	0.000±0.001		2.604±0.064	2.603±0.065	-0.001±0.001		0.623±0.045	0.623±0.046	0.000±0.001		
	ผสม	2.398±0.067	2.398±0.067	0.000±0.001	0.520±0.037	0.520±0.037	0.000		2.604±0.046	2.604±0.046	0.000		0.699±0.024	0.699±0.023	0.000±0.001		
	75	2.393±0.032	2.393±0.032	0.000±0.001	0.541±0.089	0.541±0.089	0.000		2.668±0.161	2.668±0.161	0.000		0.726±0.062	0.726±0.062	0.000±0.001		
82NR50B1	ไตร้เป่า	2.359±0.047	2.358±0.046	-0.001±0.001	0.559±0.037	0.559±0.037	0.000		2.651±0.058	2.651±0.058	0.000		0.696±0.083	0.684±0.065	-0.012±0.020		
	ผสม	2.367±0.0265	2.368±0.027	0.001±0.001	0.451±0.078	0.452±0.079	0.001±0.001		2.595±0.084	2.595±0.084	0.000±0.001		0.614±0.095	0.614±0.095	0.000±0.001		
	75	2.340±0.020	2.342±0.019	0.002±0.002	0.533±0.127	0.537±0.124	0.004±0.004		2.611±0.045	2.612±0.045	0.001±0.002		0.707±0.030	0.709±0.030	0.002±0.001		
82NR50B1	ไตร้เป่า	2.416±0.068	2.419±0.066	0.003±0.003	0.501±0.105	0.503±0.102	0.002±0.003		2.578±0.013	2.582±0.015	0.005±0.002		0.706±0.057	0.711±0.057	0.005±0.002		
	ผสม	2.357±0.089	2.359±0.089	0.002	0.435±0.013	0.443±0.015	0.008±0.002		2.629±0.038	2.638±0.038	0.008±0.001		0.611±0.027	0.614±0.027	0.003		
	85	2.355±0.0264	2.354±0.027	0.001±0.001	0.477±0.034	0.477±0.034	0.000±0.001		2.646±0.086	2.647±0.085	0.001±0.001		0.620±0.024	0.636±0.046	0.016±0.027		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

สูตร	อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่											
		1			2			3			4		
		D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)	D _S (mm)	D _H (mm)	ΔD _{SH} (mm)
82NRB10	75	2.453±0.048	2.454±0.049	0.001±0.001	0.550±0.058	0.550±0.058	0.000	2.664±0.027	2.664±0.027	0.000	0.618±0.035	0.621±0.034	0.003±0.003
	80	2.376±0.052	2.381±0.045	0.005±0.008	0.580±0.034	0.580±0.034	0.022±0.015	2.763±0.039	2.767±0.033	0.004±0.007	0.623±0.028	0.635±0.030	0.012±0.005
	85	2.488±0.080	2.488±0.081	0.000±0.001	0.541±0.034	0.546±0.039	0.005±0.008	2.752±0.122	2.763±0.119	0.011±0.004	0.705±0.032	0.723±0.023	0.018±0.024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการันใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีสิทธิ์ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง 1 ครั้ง ให้ควมร้อนเวลา 30 วินาที

ตารางที่ ค.1 ผลต่างระหว่างระยะห่างลวดลายหลังการชักล้าง 1 ครั้ง (D_{W1}) กับระยะห่างลวดลายหลังให้ความร้อน (D_H) ($\Delta D_{HW1} = D_{W1} - D_H$)

สูตร	อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่															
		1				2				3				4			
		D_H (mm)	D_{W1} (mm)	ΔD_{HW1} (mm)	D_H (mm)	D_{W1} (mm)	ΔD_{HW1} (mm)	D_H (mm)	D_{W1} (mm)	ΔD_{HW1} (mm)	D_H (mm)	D_{W1} (mm)	ΔD_{HW1} (mm)	D_H (mm)	D_{W1} (mm)	ΔD_{HW1} (mm)	
เกรต การค้ำ	180	2.286±0.052	2.324±0.105	0.038±0.027	0.808±0.097	0.842±0.101	0.034±0.008	2.844±0.153	2.900±0.090	0.056±0.020	0.884±0.080	0.878±0.105	0.016±0.018				
	75	2.363±0.094	2.389±0.107	0.026±0.054	0.796±0.051	0.788±0.067	0.008±0.079	2.690±0.117	2.628±0.127	-0.062±0.124	0.715±0.067	0.715±0.067	0.000±0.032				
	80	2.415±0.051	2.509±0.103	0.094±0.054	0.890±0.085	0.885±0.007	0.005±0.079	2.831±0.061	2.690±0.146	-0.141±0.124	0.857±0.009	0.899±0.041	0.042±0.032				
	85	2.411±0.117	2.475±0.061	0.064±0.032	0.912±0.120	0.858±0.076	0.064±0.052	2.865±0.216	2.690±0.179	-0.155±0.045	0.893±0.107	0.884±0.048	0.019±0.064				
91NR	90	2.427±0.067	2.496±0.064	0.069±0.020	0.698±0.036	0.658±0.146	0.040±0.014	2.715±0.107	2.551±0.097	-0.184±0.015	0.748±0.072	0.725±0.087	0.023±0.016				
	75	2.403±0.041	2.438±0.076	0.035±0.036	0.886±0.091	0.882±0.084	0.004±0.008	2.853±0.061	2.664±0.110	-0.189±0.138	0.910±0.079	0.867±0.088	0.043±0.073				
	80	2.398±0.039	2.420±0.014	0.022±0.027	0.773±0.085	0.752±0.078	0.021±0.020	2.840±0.093	2.621±0.041	-0.219±0.078	0.859±0.110	0.864±0.114	0.005±0.010				
82NR	85	2.389±0.052	2.398±0.026	0.009±0.027	0.812±0.093	0.744±0.103	0.068±0.032	2.831±0.052	2.660±0.046	-0.172±0.090	0.774±0.022	0.774±0.043	0.000±0.029				
	90	2.424±0.068	2.506±0.076	0.082±0.049	0.717±0.015	0.692±0.054	0.025±0.045	2.780±0.064	2.570±0.030	-0.210±0.090	0.712±0.018	0.714±0.015	0.003±0.003				

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตัวอย่างที่											
	1			2			3			4		
	D _H (mm)	D _{W1} (mm)	ΔD _{HW1} (mm)	D _H (mm)	D _{W1} (mm)	ΔD _{HW1} (mm)	D _H (mm)	D _{W1} (mm)	ΔD _{HW1} (mm)	D _H (mm)	D _{W1} (mm)	ΔD _{HW1} (mm)
75	2.359±0.025	2.440±0.045	0.081±0.040	0.705±0.229	0.675±0.010	0.030±0.008	2.866±0.232	2.677±0.047	-0.189±0.046	0.934±0.255	0.927±0.064	0.007±0.006
	2.350±0.086	2.470±0.026	0.120±0.061	0.786±0.129	0.782±0.083	0.004±0.008	2.904±0.104	2.749±0.018	-0.155±0.056	0.904±0.217	0.898±0.209	0.006±0.010
	2.358±0.059	2.448±0.084	0.090±0.078	0.597±0.147	0.571±0.168	0.026±0.022	2.797±0.199	2.668±0.199	-0.129±0.001	0.876±0.223	0.873±0.224	0.003±0.004
90	2.332±0.056	2.388±0.084	0.056±0.049	0.550±0.091	0.550±0.0914	0.000±0.001	2.711±0.101	2.561±0.123	-0.150±0.040	0.666±0.092	0.668±0.098	0.002±0.007
75	2.437±0.029	2.420±0.025	0.017±0.015	0.812±0.145	0.812±0.145	0.000±0.001	2.681±0.045	2.522±0.079	-0.159±0.039	0.875±0.023	0.855±0.046	-0.020±0.029
80	2.410±0.046	2.440±0.015	0.030±0.052	0.911±0.170	0.907±0.163	-0.004±0.008	2.676±0.061	2.509±0.058	-0.167±0.022	0.821±0.090	0.818±0.085	-0.003±0.005
85	2.500±0.056	2.587±0.064	0.087±0.045	0.718±0.091	0.684±0.081	-0.034±0.040	2.664±0.126	2.556±0.120	-0.108±0.093	0.699±0.097	0.732±0.085	0.033±0.066
90	2.492±0.045	2.518±0.020	0.026±0.034	0.799±0.065	0.782±0.071	-0.017±0.029	2.711±0.066	2.664±0.090	-0.047±0.061	0.852±0.047	0.846±0.053	-0.006±0.010
75	2.449±0.090	2.449±0.117	0.000±0.195	0.507±0.064	0.507±0.132	0.000±0.040	2.715±0.138	2.591±0.085	-0.124±0.082	0.772±0.096	0.773±0.068	0.001±0.009
80	2.468±0.093	2.481±0.105	0.013±0.052	0.844±0.111	0.824±0.116	-0.020±0.035	2.775±0.124	2.671±0.122	-0.104±0.007	0.808±0.071	0.803±0.145	-0.005±0.058
85	2.348±0.084	2.340±0.184	-0.008±0.145	0.829±0.149	0.791±0.019	-0.038±0.097	2.732±0.115	2.574±0.032	-0.158±0.023	0.750±0.102	0.747±0.088	0.003±0.075
90	2.525±0.051	2.665±0.090	0.140±0.001	0.859±0.104	0.829±0.064	-0.030±0.001	2.789±0.054	2.674±0.179	-0.115±0.046	0.764±0.014	0.734±0.096	-0.030±0.002

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

วัสดุ	อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่											
		1			2			3			4		
		D _H (mm)	D _{w1} (mm)	ΔD _{Hw1} (mm)	D _H (mm)	D _{w1} (mm)	ΔD _{Hw1} (mm)	D _H (mm)	D _{w1} (mm)	ΔD _{Hw1} (mm)	D _H (mm)	D _{w1} (mm)	ΔD _{Hw1} (mm)
82NRB1	75	2.371±0.034	2.380±0.019	0.009±0.015	0.550±0.071	0.537±0.084	-0.013±0.013	2.616±0.072	2.454±0.059	-0.162±0.046	0.647±0.018	0.646±0.020	-0.001±0.002
	80	2.406±0.065	2.440±0.122	0.034±0.059	0.572±0.032	0.572±0.032	0.000	2.754±0.078	2.603±0.168	-0.151±0.104	0.706±0.019	0.706±0.018	0.000±0.001
	85	2.398±0.100	2.475±0.152	0.077±0.068	0.576±0.120	0.576±0.119	0.000±0.001	2.798±0.178	2.646±0.172	-0.152±0.042	0.764±0.113	0.764±0.113	0.000±0.001
82ENR25B1	ไคร้ป่า	2.371±0.039	2.440±0.061	0.069±0.065	0.473±0.015	0.473±0.015	0.000±0.001	2.603±0.065	2.531±0.020	-0.072±0.054	0.623±0.046	0.623±0.046	0.000
	ผสม	2.398±0.067	2.412±0.084	0.014±0.022	0.520±0.037	0.516±0.034	-0.004±0.007	2.604±0.046	2.471±0.027	-0.133±0.063	0.699±0.023	0.699±0.023	0.000±0.001
	75	2.393±0.032	2.406±0.052	0.013±0.023	0.541±0.089	0.541±0.089	0.000	2.668±0.161	2.528±0.128	-0.086±0.033	0.726±0.062	0.726±0.062	0.000±0.001
82ENR50B1	ไคร้ป่า	2.358±0.046	2.359±0.046	0.001±0.001	0.559±0.037	0.559±0.037	0.000	2.651±0.058	2.591±0.064	-0.060±0.029	0.684±0.065	0.684±0.064	0.000±0.001
	ผสม	2.368±0.027	2.423±0.059	0.055±0.049	0.452±0.079	0.452±0.078	0.000±0.001	2.595±0.084	2.548±0.123	-0.047±0.039	0.614±0.095	0.614±0.095	0.000
	75	2.342±0.019	2.354±0.032	0.011±0.044	0.537±0.124	0.537±0.124	0.000	2.612±0.045	2.487±0.111	-0.125±0.088	0.709±0.030	0.708±0.055	-0.001±0.026
82ENR50B1	ไคร้ป่า	2.419±0.066	2.415±0.061	-0.004±0.007	0.503±0.102	0.498±0.095	-0.005±0.007	2.582±0.015	2.520±0.019	-0.062±0.007	0.711±0.057	0.711±0.057	0.000±0.001
	ผสม	2.359±0.089	2.360±0.089	0.001±0.001	0.443±0.015	0.444±0.027	0.001±0.016	2.638±0.038	2.608±0.046	-0.030±0.083	0.614±0.027	0.614±0.026	0.000±0.001
	75	2.354±0.027	2.376±0.040	0.022±0.038	0.477±0.034	0.477±0.034	0.000±0.001	2.647±0.085	2.565±0.046	-0.082±0.083	0.636±0.046	0.639±0.043	0.003±0.004

ภาคผนวก ง

ผลความคมชัดของลวดลายหลังจากการชักล้าง 5 ครั้ง ให้ความร้อนเวลา 30 วินาที

ตารางที่ ง.1 ผลต่างระหว่างระยะห่างลวดลายหลังการชักล้าง 5 ครั้ง (D_{W5}) กับระยะห่างลวดลายหลังให้ความร้อน (D_H) ($\Delta D_{HW5} = D_{W5} - D_H$)

อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่											
	1			2			3			4		
	D_H (mm)	D_{W5} (mm)	ΔD_{HW5} (mm)	D_H (mm)	D_{W5} (mm)	ΔD_{HW5} (mm)	D_H (mm)	D_{W5} (mm)	ΔD_{HW5} (mm)	D_H (mm)	D_{W5} (mm)	ΔD_{HW5} (mm)
180	2.286±0.052	2.325±0.083	0.039±0.034	0.808±0.097	0.765±0.105	0.043±0.015	2.844±0.153	2.935±0.041	0.091±0.078	0.884±0.080	0.823±0.088	0.061±0.074
	2.363±0.094	2.449±0.101	0.086±0.097	0.796±0.051	0.643±0.065	-0.143±0.039	2.690±0.117	2.346±0.046	-0.344±0.076	0.715±0.067	0.662±0.057	-0.053±0.017
80	2.415±0.051	2.522±0.141	0.107±0.070	0.890±0.085	0.855±0.020	-0.035±0.097	2.831±0.061	2.534±0.059	-0.297±0.013	0.857±0.009	0.876±0.059	0.019±0.054
	2.411±0.117	2.556±0.052	0.145±0.078	0.912±0.120	0.809±0.071	-0.103±0.072	2.865±0.216	2.508±0.241	-0.357±0.056	0.893±0.107	0.844±0.097	-0.049±0.019
90	2.427±0.067	2.556±0.075	0.129±0.034	0.698±0.036	0.619±0.179	-0.078±0.025	2.715±0.107	2.376±0.060	-0.339±0.091	0.748±0.072	0.698±0.070	-0.050±0.003
	2.403±0.041	2.592±0.121	0.189±0.081	0.886±0.091	0.868±0.090	-0.018±0.015	2.853±0.061	2.581±0.026	-0.270±0.084	0.910±0.079	0.863±0.082	-0.047±0.070
80	2.398±0.039	2.598±0.179	0.200±0.154	0.773±0.085	0.726±0.070	-0.047±0.046	2.840±0.093	2.425±0.081	-0.415±0.018	0.859±0.110	0.839±0.088	-0.022±0.023
	2.389±0.052	2.554±0.023	0.165±0.031	0.812±0.093	0.735±0.105	-0.077±0.046	2.831±0.052	2.502±0.058	-0.329±0.103	0.774±0.022	0.778±0.045	0.000±0.032
90	2.424±0.068	2.652±0.134	0.228±0.066	0.717±0.015	0.659±0.055	-0.058±0.040	2.780±0.064	2.389±0.083	-0.391±0.142	0.712±0.018	0.709±0.014	-0.003±0.005

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่															
	1				2				3				4			
	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HWS} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HWS} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HWS} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HWS} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HWS} (mm)	
75	2.359±0.025	2.539±0.106	0.180±0.082	0.705±0.229	0.624±0.206	-0.081±0.027	2.866±0.232	2.569±0.172	-0.297±0.093	0.934±0.255	0.883±0.189	-0.051±0.067	0.934±0.255	0.883±0.189	-0.051±0.067	
	2.350±0.086	2.518±0.045	0.168±0.046	0.786±0.129	0.714±0.118	-0.072±0.020	2.904±0.104	2.612±0.223	-0.292±0.128	0.904±0.217	0.888±0.199	-0.016±0.027	0.904±0.217	0.888±0.199	-0.016±0.027	
	2.358±0.059	2.509±0.075	0.151±0.039	0.597±0.147	0.559±0.172	-0.038±0.026	2.797±0.199	2.514±0.241	-0.283±0.044	0.876±0.223	0.852±0.239	-0.024±0.033	0.876±0.223	0.852±0.239	-0.024±0.033	
90	2.332±0.056	2.492±0.119	0.160±0.066	0.550±0.091	0.550±0.091	0.000±0.001	2.711±0.101	2.436±0.131	-0.275±0.032	0.666±0.092	0.610±0.155	-0.056±0.107	0.666±0.092	0.610±0.155	-0.056±0.107	
	2.437±0.029	2.480±0.013	0.043±0.032	0.812±0.145	0.791±0.130	-0.021±0.037	2.681±0.045	2.397±0.052	-0.284±0.068	0.875±0.023	0.844±0.051	-0.031±0.029	0.875±0.023	0.844±0.051	-0.031±0.029	
	2.410±0.046	2.522±0.020	0.112±0.065	0.911±0.170	0.890±0.182	-0.021±0.015	2.676±0.061	2.479±0.095	-0.197±0.059	0.821±0.090	0.808±0.098	-0.013±0.024	0.821±0.090	0.808±0.098	-0.013±0.024	
85	2.500±0.056	2.686±0.126	0.186±0.133	0.718±0.091	0.662±0.100	-0.056±0.041	2.664±0.126	2.372±0.085	-0.292±0.058	0.699±0.097	0.718±0.083	0.019±0.039	0.699±0.097	0.718±0.083	0.019±0.039	
	2.492±0.045	2.578±0.023	0.086±0.066	0.799±0.065	0.774±0.079	-0.025±0.034	2.711±0.066	2.415±0.132	-0.296±0.078	0.852±0.047	0.812±0.012	-0.040±0.045	0.852±0.047	0.812±0.012	-0.040±0.045	
	2.449±0.090	2.484±0.130	0.035±0.217	0.507±0.064	0.508±0.159	-0.001±0.064	2.715±0.138	2.414±0.057	-0.301±0.137	0.772±0.096	0.760±0.093	-0.012±0.056	0.772±0.096	0.760±0.093	-0.012±0.056	
80	2.468±0.093	2.432±0.150	0.036±0.104	0.844±0.111	0.793±0.071	-0.051±0.092	2.775±0.124	2.543±0.052	-0.232±0.065	0.808±0.071	0.791±0.115	-0.017±0.042	0.808±0.071	0.791±0.115	-0.017±0.042	
	2.348±0.084	2.482±0.001	0.034±0.104	0.829±0.149	0.793±0.067	-0.036±0.048	2.732±0.115	2.496±0.042	-0.236±0.023	0.750±0.102	0.762±0.071	0.012±0.059	0.750±0.102	0.762±0.071	0.012±0.059	
	2.525±0.051	2.716±0.086	0.191±0.019	0.859±0.104	0.752±0.063	-0.107±0.001	2.789±0.054	2.530±0.134	-0.259±0.026	0.764±0.014	0.715±0.115	-0.049±0.021	0.764±0.014	0.715±0.115	-0.049±0.021	

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ตำแหน่งที่											
	1			2			3			4		
	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HW5} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HW5} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HW5} (mm)	D _H (mm)	D _{W5} (mm)	ΔD _{HW5} (mm)
75	2.371±0.034	2.394±0.026	0.023±0.015	0.550±0.071	0.538±0.084	-0.012±0.013	2.616±0.072	2.393±0.052	-0.283±0.046	0.647±0.018	0.648±0.019	0.001±0.002
80	2.406±0.065	2.462±0.101	0.056±0.059	0.572±0.032	0.568±0.039	-0.004±0.001	2.754±0.078	2.475±0.085	-0.279±0.104	0.706±0.019	0.705±0.019	-0.001±0.001
85	2.398±0.100	2.505±0.119	0.107±0.068	0.576±0.120	0.577±0.120	0.001±0.001	2.798±0.178	2.522±0.129	-0.276±0.042	0.764±0.113	0.763±0.114	-0.001±0.001
ไคร้เป่า ผสม	2.371±0.039	2.500±0.065	0.129±0.090	0.473±0.015	0.453±0.012	-0.020±0.026	2.603±0.065	2.397±0.034	-0.206±0.034	0.623±0.046	0.623±0.046	0.000
75	2.398±0.067	2.431±0.084	0.033±0.027	0.520±0.037	0.507±0.032	-0.013±0.022	2.604±0.046	2.398±0.069	-0.206±0.065	0.699±0.023	0.699±0.023	0.000±0.001
80	2.393±0.032	2.449±0.078	0.056±0.049	0.541±0.089	0.541±0.089	0.000	2.668±0.161	2.566±0.115	-0.102±0.078	0.726±0.062	0.726±0.062	0.000
85	2.358±0.046	2.393±0.098	0.035±0.059	0.559±0.037	0.559±0.037	0.000	2.651±0.058	2.530±0.064	-0.121±0.041	0.684±0.065	0.684±0.064	0.000±0.002
ไคร้เป่า ผสม	2.368±0.027	2.479±0.078	0.111±0.064	0.452±0.079	0.448±0.075	-0.004±0.008	2.595±0.084	2.457±0.109	-0.138±0.045	0.614±0.095	0.614±0.095	0.000
75	2.342±0.019	2.325±0.044	0.017±0.052	0.557±0.124	0.533±0.129	-0.004±0.007	2.612±0.045	2.418±0.114	-0.194±0.090	0.709±0.030	0.708±0.056	-0.001±0.027
80	2.419±0.066	2.454±0.061	0.035±0.007	0.503±0.102	0.503±0.093	0.000±0.013	2.582±0.015	2.434±0.052	-0.148±0.039	0.711±0.057	0.712±0.014	-0.001±0.059
85	2.359±0.089	2.359±0.089	0.000	0.443±0.015	0.452±0.026	0.001±0.014	2.638±0.038	2.555±0.065	-0.083±0.099	0.614±0.027	0.614±0.027	0.000
ไคร้เป่า ผสม	2.354±0.027	2.401±0.054	0.047±0.061	0.477±0.034	0.473±0.027	-0.004±0.008	2.647±0.085	2.449±0.093	-0.198±0.136	0.636±0.046	0.644±0.046	0.008±0.001

ภาคผนวก จ

ผลการวัดเจดสีของหมึกพลาสติกซอลหลังจากการอบร้อนของหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ

ตารางที่ จ.1 ผลต่างระหว่างค่าความสว่างของหมึกพลาสติกซอลเหลือง (L^{*}) และความสว่างของหมึกพลาสติกซอลหลังสกรีน (L_S^{*}) ($\Delta L_{SH}^* = L_H^* - L_S^*$)

สูตร	อุณหภูมิ											
	75°C			80°C			85°C			90°C		
	L _S [*]	L _H [*]	ΔL_{SH}^*	L _S [*]	L _H [*]	ΔL_{SH}^*	L _S [*]	L _H [*]	ΔL_{SH}^*	L _S [*]	L _H [*]	ΔL_{SH}^*
91NR	52.19±0.30	50.84±0.67	-1.35±0.47	48.47±0.11	49.89±0.90	1.42±0.20	50.21±0.64	51.52±0.71	1.31±0.54	52.80±0.66	53.96±0.88	1.16±0.28
82NR	53.72±1.31	52.85±0.69	-0.87±0.24	55.97±0.41	56.19±0.42	0.22±0.11	54.34±0.62	54.53±0.44	0.19±0.12	54.44±0.33	54.88±0.14	0.44±0.19
73NR	59.41±1.80	58.67±1.85	-0.74±0.09	56.25±1.69	57.30±1.73	1.05±0.23	58.03±2.61	58.70±2.34	0.67±0.27	56.68±1.17	57.46±0.94	0.78±0.51
82ENR25	54.00±0.74	53.92±0.84	-0.08±0.01	52.56±1.53	52.96±0.70	0.40±0.03	51.66±0.64	53.10±0.30	1.44±0.53	53.76±0.39	55.52±0.65	1.76±0.54
82ENR50	56.79±0.11	55.99±0.69	-0.80±0.10	50.67±0.95	50.83±0.79	0.16±0.08	51.36±1.26	51.75±1.32	0.39±0.06	52.50±0.09	53.14±0.54	0.64±0.13
82NRB1	58.05±0.25	56.96±0.90	-1.09±0.31	55.56±0.36	56.07±0.67	0.51±0.24	57.99±0.39	58.06±0.19	0.07±0.06			
82NRB10	57.31±0.79	56.77±0.23	-0.54±0.28	55.79±0.72	55.96±0.57	0.17±0.10	56.09±0.93	56.21±0.14	0.12±0.06			
82ENR25B1	54.87±0.33	54.79±0.06	-0.23±0.10	54.41±0.74	54.78±0.01	0.37±0.08	54.83±0.49	55.16±0.35	0.33±0.11			
82ENR50B1	55.21±0.89	54.56±0.94	-0.65±0.19	52.00±0.97	53.07±0.80	1.07±0.24	51.77±1.42	53.29±0.43	1.52±0.29			

ภาคผนวก ฉ

ผลเฉลี่ยของหมึกพลาสติกซอลหลังซัก 1 ครั้ง ของหมึกสูตรต่าง ๆ

ตารางที่ ฉ.1 ผลต่างระหว่างค่าความสว่างของหมึกพลาสติกซอลหลังซัก 1 ครั้ง (L_{w1}^*) และความสว่างของหมึกพลาสติกซอลหล่อรอบ (L_H^*) ($\Delta L_{HW1}^* = L_{w1}^* - L_H^*$)

สูตร	อุณหภูมิ															
	75°C				80°C				85°C				90°C			
	L_H^*	L_{w1}^*	ΔL_{HW1}^*	L_H^*	L_{w1}^*	ΔL_{HW1}^*	L_H^*	L_{w1}^*	ΔL_{HW1}^*	L_H^*	L_{w1}^*	ΔL_{HW1}^*	L_H^*	L_{w1}^*	ΔL_{HW1}^*	
91NR	50.84±0.67	52.03±0.46	1.19±0.24	49.89±0.90	51.05±0.74	1.16±0.24	51.52±0.71	54.38±1.24	1.55±0.52	53.96±0.88	56.40±1.89	1.28±0.27	53.96±0.88	56.40±1.89	1.28±0.27	
82NR	52.85±0.69	53.85±0.72	1.00±0.41	56.19±0.42	57.17±0.17	0.98±0.47	54.53±0.44	56.38±0.17	1.34±0.28	54.88±0.14	56.31±1.22	1.89±0.30	54.88±0.14	56.31±1.22	1.89±0.30	
73NR	58.67±1.85	60.16±2.07	1.49±0.34	57.30±1.73	58.89±2.02	1.59±0.37	58.70±2.34	60.86±1.76	1.49±0.50	57.46±0.94	59.57±0.84	1.33±0.11	57.46±0.94	59.57±0.84	1.33±0.11	
82ENR25	53.92±0.84	55.34±0.36	1.42±0.55	52.96±0.70	54.93±0.64	1.97±0.59	53.10±0.30	53.40±0.34	1.74±0.40	55.52±0.65	55.22±0.09	1.46±0.67	55.52±0.65	55.22±0.09	1.46±0.67	
82ENR50	55.99±0.69	55.65±0.54	0.34±0.15	50.83±0.79	51.73±0.87	0.90±0.48	51.75±1.32	52.93±1.38	0.79±0.14	53.14±0.54	53.30±0.73	0.81±0.37	53.14±0.54	53.30±0.73	0.81±0.37	
82NRB1				56.07±0.67	56.69±0.39	0.62±0.24										
82ENR25B1				55.96±0.57	54.93±0.23	0.15±0.12										
82ENR50B1				54.78±0.01	53.88±0.89	0.81±0.25										

ตารางที่ ๑.๒ ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย-แดงของหมักพลาสติกชีวภาพระหว่างการแช่กล้าง 1 ครั้ง (a_{w1}^*) และความกว้างของหมักพลาสติกชีวภาพหลังกล้าง (a_H^*) ($\Delta a_{HW1}^* = a_{w1}^* - a_H^*$)

สูตร	อุณหภูมิ											
	75°C			80°C			85°C			90°C		
	a_H^*	a_{w1}^*	Δa_{HW1}^*	a_H^*	a_{w1}^*	Δa_{HW1}^*	a_H^*	a_{w1}^*	Δa_{HW1}^*	a_H^*	a_{w1}^*	Δa_{HW1}^*
91NR	50.82±0.69	51.35±0.95	0.95±0.26	50.91±0.16	50.72±0.49	2.06±0.27	49.91±0.08	49.71±0.83	2.08±0.67	49.91±0.08	48.55±0.33	1.44±0.68
82NR	49.22±0.45	48.61±1.01	1.91±0.66	47.65±0.91	45.67±0.58	2.33±0.58	48.24±0.56	46.32±1.00	3.15±0.45	48.24±0.56	46.26±0.51	3.33±0.30
73NR	44.51±2.34	41.70±2.25	2.59±0.15	45.42±1.51	41.58±2.41	3.58±0.51	44.11±1.49	41.75±0.62	2.93±0.66	44.11±1.49	43.67±0.62	2.30±0.65
82ENR25	47.92±0.64	49.39±0.32	0.89±0.35	46.77±0.91	49.35±1.45	1.75±0.57	45.80±0.65	50.29±0.36	1.68±0.57	45.80±0.65	48.77±0.58	1.28±0.59
82ENR50	50.33±1.80	48.33±2.61	1.77±0.11	49.39±2.00	51.60±2.43	0.82±0.15	49.21±0.63	50.49±1.14	1.01±0.15	49.21±0.63	50.86±1.17	0.89±0.28
82NRB1				46.92±0.55	47.62±0.68	0.89±0.32						
82ENR25B1				48.75±0.83	49.78±0.37	0.51±0.11						
82ENR50B1				49.41±1.09	51.53±1.24	0.30±0.24						

ภาคผนวก ข

ผลเฉลี่ยของหมึกพลาสติกซอลหลังซัก 5 ครั้ง ของหมึกสูตรต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 ผลต่างระหว่างค่าความสว่างของหมึกพลาสติกซอลหลังซัก 5 ครั้ง (L_{W5}^*) และความสว่างของหมึกพลาสติกซอลหลังอบ (L_H^*) ($\Delta L_{HW5}^* = L_{W5}^* - L_H^*$)

สูตร	อุณหภูมิ															
	75°C				80°C				85°C				90°C			
	L_H^*	L_{W5}^*	ΔL_{HW5}^*		L_H^*	L_{W5}^*	ΔL_{HW5}^*		L_H^*	L_{W5}^*	ΔL_{HW5}^*		L_H^*	L_{W5}^*	ΔL_{HW5}^*	
91NR	50.84±0.67	52.90±0.45	2.06±0.74		49.89±0.90	52.65±0.88	2.76±0.21		51.52±0.71	55.85±1.37	3.02±0.73		53.96±0.88	57.68±1.98	2.56±0.31	
82NR	52.85±0.69	56.07±1.39	3.22±0.32		56.19±0.42	59.41±0.38	3.22±0.56		54.53±0.17	61.28±0.44	3.56±0.60		54.88±0.14	58.43±0.98	4.01±0.77	
73NR	58.67±1.85	62.51±1.37	3.84±0.14		57.30±1.73	60.29±1.95	2.99±0.35		58.70±2.34	62.39±1.89	3.02±0.39		57.46±0.94	61.50±1.03	3.26±0.70	
82ENR25	53.92±0.84	56.88±0.97	2.96±0.66		52.96±0.70	57.20±0.90	4.24±0.55		53.10±0.30	56.21±0.30	4.55±0.30		55.52±0.65	56.69±0.35	2.93±0.52	
82ENR50	55.99±0.69	57.00±0.73	1.01±0.32		50.83±0.79	52.59±1.85	1.76±0.47		51.75±1.32	53.95±1.16	1.81±0.27		53.14±0.54	54.96±1.18	2.47±0.65	
82NRB1					56.07±0.67	57.39±0.64	1.32±0.56									
82ENR25B1					55.96±0.57	55.44±0.28	0.66±0.32									
82ENR50B1					54.78±0.01	54.52±1.57	1.45±0.25									

ตารางที่ ข.2 ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย-แดงของหมักพลาสติกชีวภาพระหว่างการชักล้าง 5 ครั้ง (a_{w5}^*) และความกว้างของหมักพลาสติกชีวภาพหลังชักล้าง (Δa_{HW5}^*) ($\Delta a_{HW5}^* = a_{w5}^* - a_H^*$)

สูตร	อุณหภูมิ											
	75°C			80°C			85°C			90°C		
	a_H^*	a_{w5}^*	Δa_{HW5}^*	a_H^*	a_{w5}^*	Δa_{HW5}^*	a_H^*	a_{w5}^*	Δa_{HW5}^*	a_H^*	a_{w5}^*	Δa_{HW5}^*
91NR	50.82±0.69	50.31±0.57	1.99±0.44	50.91±0.16	48.86±0.60	3.92±0.55	49.91±0.08	46.55±0.62	5.25±0.33	49.91±0.08	45.27±1.46	4.72±0.77
82NR	49.22±0.45	45.28±0.18	5.24±0.57	47.65±0.91	41.28±0.75	6.72±0.51	48.24±0.56	42.04±1.61	7.43±0.28	48.24±0.56	42.64±0.92	6.95±0.29
73NR	44.51±2.34	38.17±1.64	6.12±0.42	45.42±1.51	39.32±0.52	5.84±0.62	44.11±1.49	39.15±0.82	5.53±0.71	44.11±1.49	40.70±1.24	5.27±0.75
82ENR25	47.92±0.64	44.96±0.35	2.97±0.35	46.77±0.91	46.03±0.60	5.07±0.22	45.80±0.65	46.74±0.81	5.23±0.77	45.80±0.65	46.34±1.29	3.71±0.98
82ENR50	50.33±1.80	46.25±1.93	4.03±0.22	49.39±2.00	43.11±0.30	4.77±0.33	49.21±0.63	43.81±1.38	5.40±0.18	49.21±0.63	40.44±0.19	6.13±0.32
82NRB1				46.92±0.55	46.26±0.18	2.25±0.78						
82ENR25B1				48.75±0.83	48.85±0.43	1.44±0.54						
82ENR50B1				49.41±1.09	51.29±1.50	0.54±0.25						

ภาคผนวก ซ

ผลเฉลี่ยของหมึกพลาสติกชนิดเกรดการค้า

ตารางที่ ซ.1 ผลต่างระหว่างค่าความสว่างของหมึกพลาสติกชนิดเกรดการค้า

สูตร	หลังการสกรีน		หลังอบให้ความร้อน		หลังการซักล้าง 1 ครั้ง		หลังการซักล้าง 5 ครั้ง	
	L_s^*	L_H^*	ΔL_{SH}^*	L_{W1}^*	ΔL_{HW1}^*	L_{W5}^*	ΔL_{HW5}^*	
เกรดการค้า	47.45±0.51	48.38±0.59	0.93±0.50	49.08±0.56	0.70±0.31	49.18±0.40	0.80±0.48	

ตารางที่ ซ.2 ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแดงของหมึกพลาสติกชนิดเกรดการค้า

สูตร	หลังการสกรีน		หลังอบให้ความร้อน		หลังการซักล้าง 1 ครั้ง		หลังการซักล้าง 5 ครั้ง	
	a_s^*	a_H^*	Δa_{SH}^*	a_{W1}^*	Δa_{HW1}^*	a_{W5}^*	Δa_{HW5}^*	
เกรดการค้า	48.70±0.23	48.13±0.78	0.57±0.77	48.38±0.85	0.25±0.39	48.33±0.49	0.20±0.54	

ภาคผนวก ฅ

ผลเฉลยของหมึกพลาสติกซอลสูตรที่ผสมด้วย BPO ให้ความร้อนด้วยไต้รเป่าผม

ตารางที่ ฅ.1 ผลต่างระหว่างค่าความสว่างของหมึกพลาสติกซอลสูตรที่ผสมด้วย BPO ให้ความร้อนด้วยไต้รเป่าผม

สูตร	L_s^*	หลังอบให้ความร้อน		หลังการซ้กล้าง 1 ครั้ง		หลังการซ้กล้าง 5 ครั้ง	
		L_H^*	ΔL_{SH}^*	L_{W1}^*	ΔL_{HW1}^*	L_{W5}^*	ΔL_{HW5}^*
82NRB1	56.96±1.61	57.40±1.32	0.44±0.04	58.79±1.41	1.39±0.04	59.72±1.08	2.32±0.38
82ENR25B1	53.76±1.14	53.91±1.59	0.15±0.09	55.70±2.03	1.79±0.44	56.34±1.99	2.43±0.41
82ENR50B1	53.11±1.79	53.36±2.15	0.25±0.11	55.57±1.90	2.21±0.34	56.29±1.93	2.93±0.22

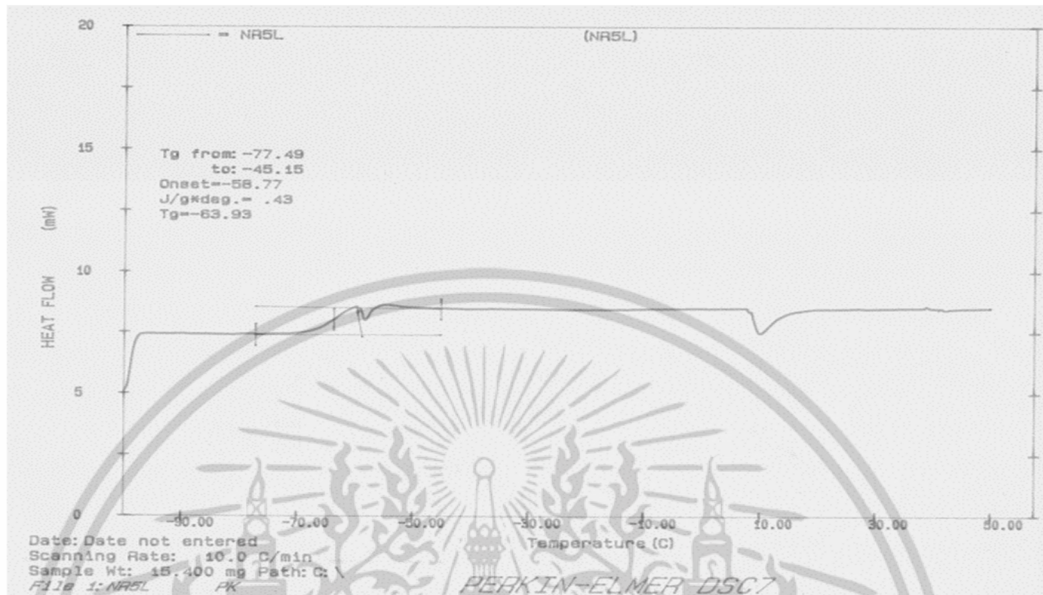
ตารางที่ ฅ.2 ผลต่างระหว่างค่าความสว่างของหมึกพลาสติกซอลสูตรที่ผสมด้วย BPO ให้ความร้อนด้วยไต้รเป่าผม

สูตร	a_s^*	หลังอบให้ความร้อน		หลังการซ้กล้าง 1 ครั้ง		หลังการซ้กล้าง 5 ครั้ง	
		a_H^*	Δa_{SH}^*	a_{W1}^*	Δa_{HW1}^*	a_{W5}^*	Δa_{HW5}^*
82NRB1	47.57±1.06	45.56±0.59	2.01±0.18	44.99±0.59	0.58±0.04	41.45±1.12	4.11±0.75
82ENR25B1	49.71±1.09	47.52±1.32	2.19±0.23	48.01±2.21	0.49±0.06	44.29±2.13	3.23±0.92
82ENR50B1	51.83±1.30	49.24±1.90	2.59±0.30	49.48±1.62	0.24±0.11	45.21±1.90	4.03±0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ

เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่อง DSC ของยางวัลดูติบและหมึกพิมพ์สูตรต่าง ๆ

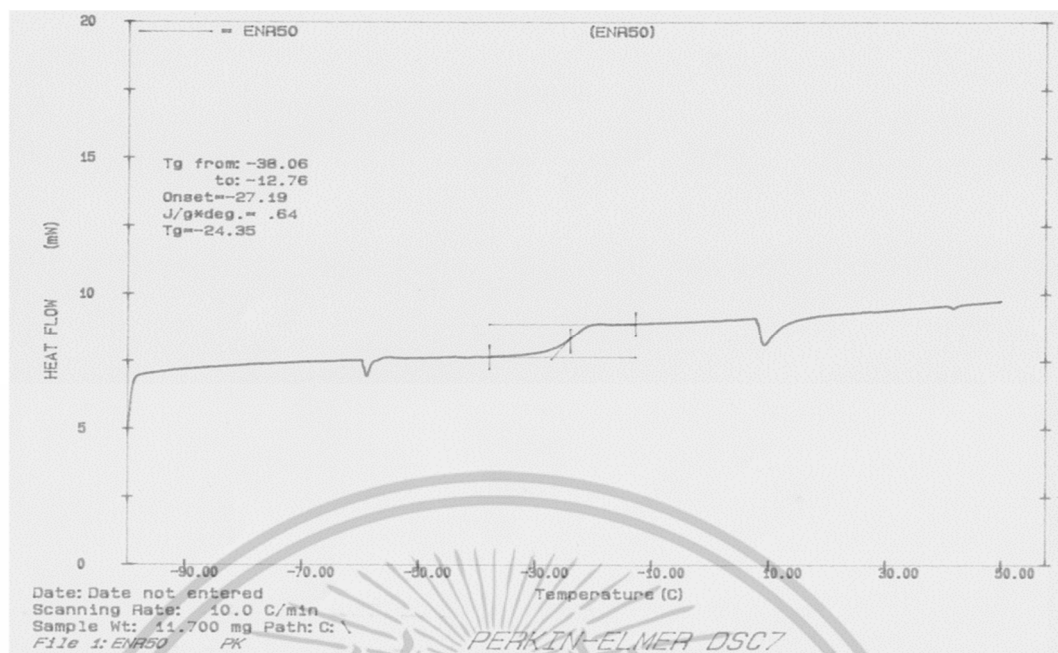


รูปที่ ญ.1 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติเกรด STR5L (Frist Heating)



รูปที่ ญ.2 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติเกรด ENR25 (Frist Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

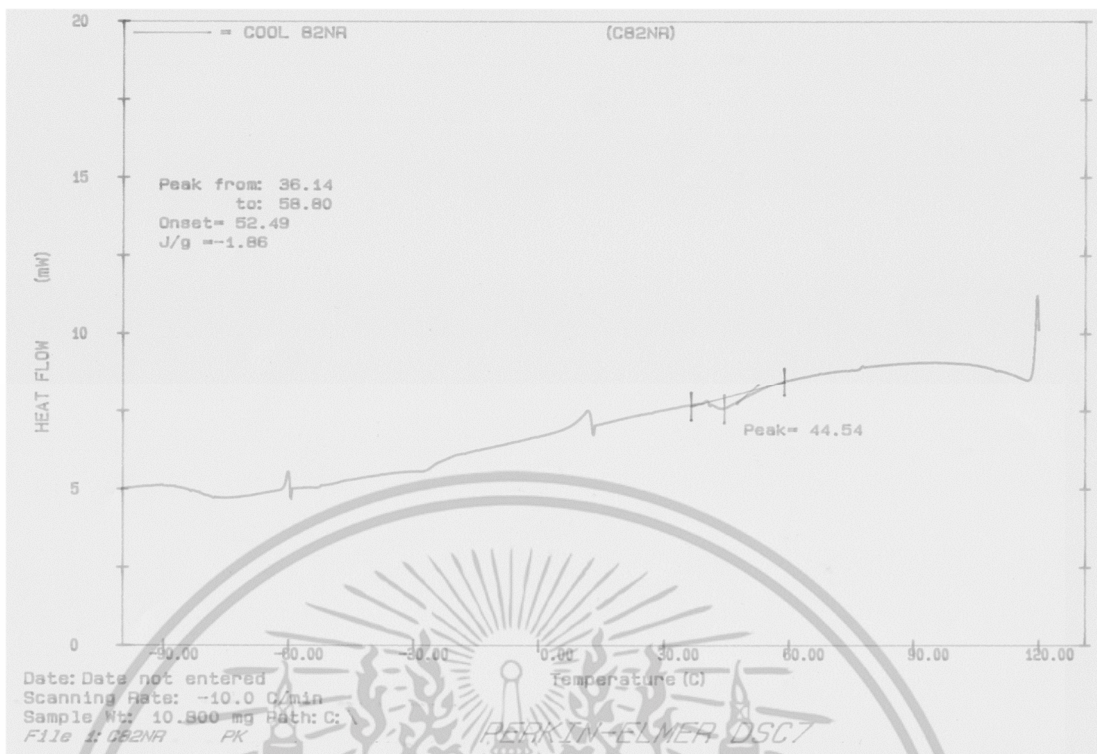


รูปที่ ๓.3 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติเกรด ENR50 (First Heating)



รูปที่ ๓.๔ เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82NR เมื่อให้ความร้อน (First Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

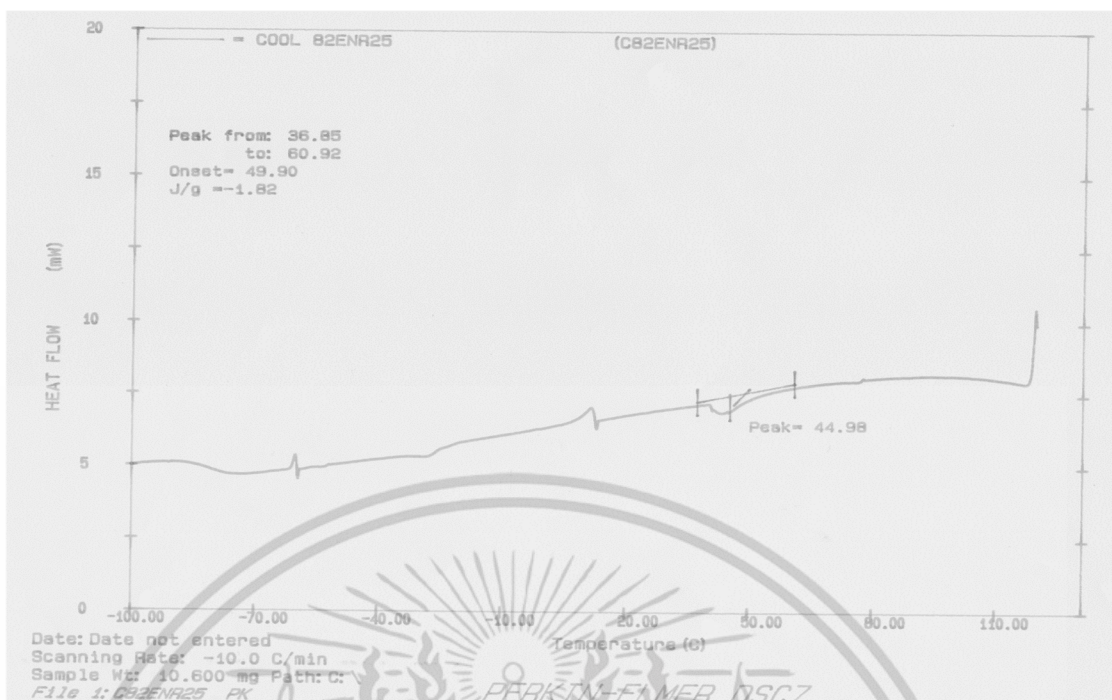


รูปที่ ๕.5 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82NR เมื่อให้ความเย็น (Cooling)



รูปที่ ๕.6 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 เมื่อให้ความร้อน (First Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

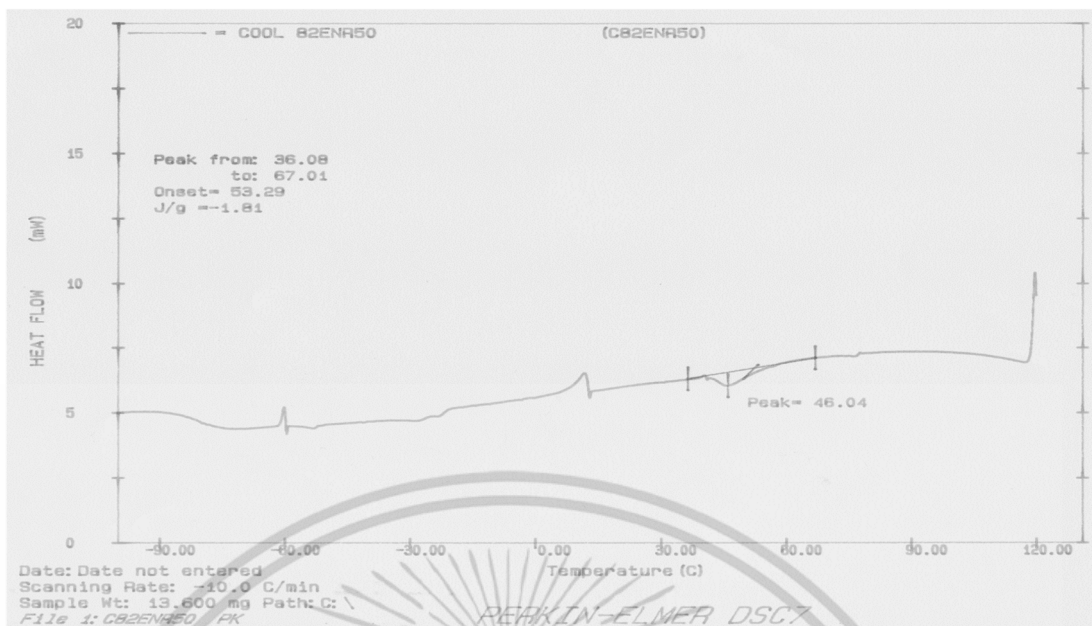


รูปที่ ๗.7 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25 เมื่อให้ความเย็น (Cooling)



รูปที่ ๗.8 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 เมื่อให้ความร้อน (First Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

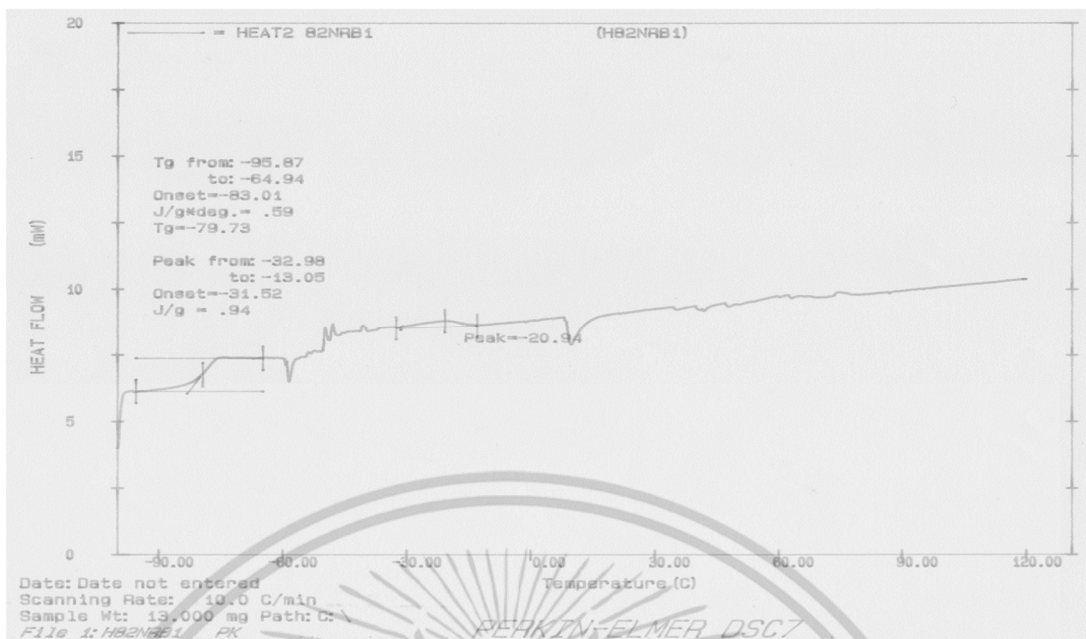


รูปที่ ๙.๙ เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50 เมื่อให้ความเย็น (Cooling)



รูปที่ ๙.๑๐ เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 เมื่อให้ความร้อนรอบที่ 1 (First Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

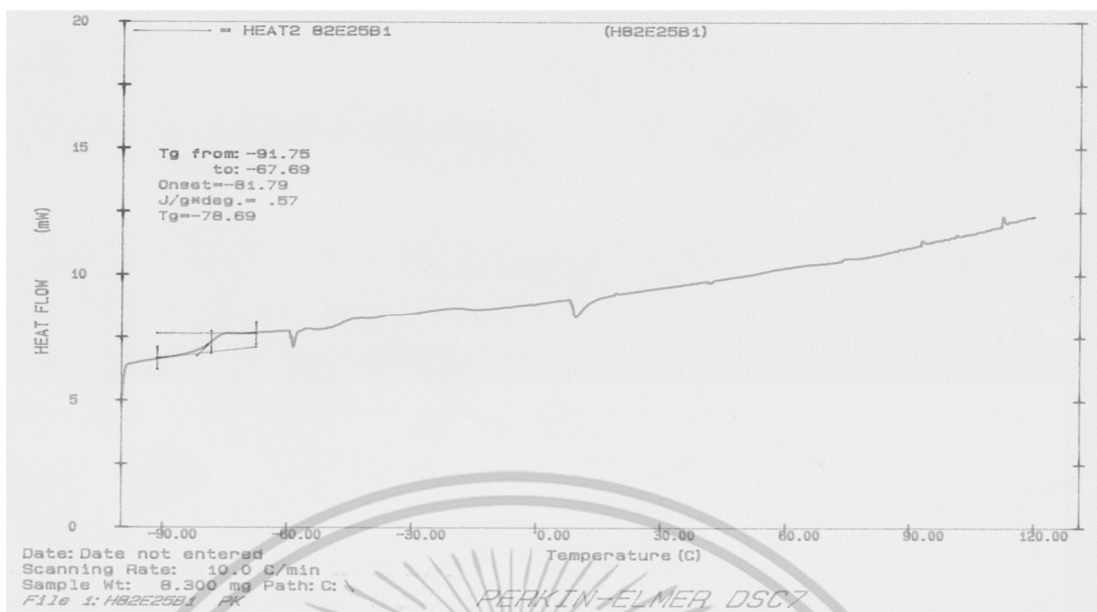


รูปที่ ๑๑.11 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82NRB1 เมื่อให้ความร้อนรอบที่ 2 (Second Heating)



รูปที่ ๑๑.12 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25B1 เมื่อให้ความร้อนรอบที่ 1 (First Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

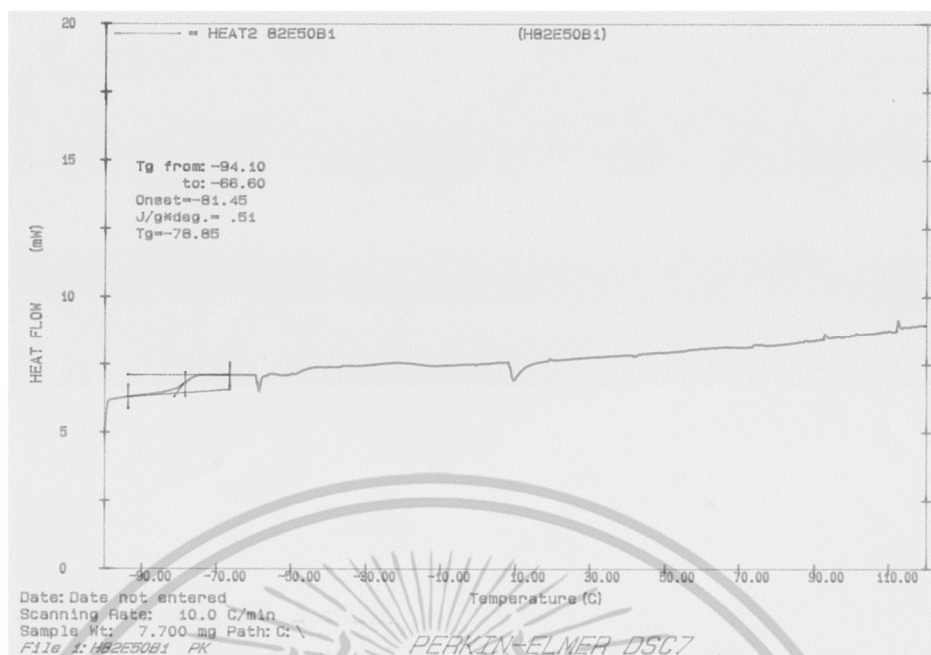


รูปที่ ๑๓ เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR25B1 เมื่อให้ความร้อนรอบที่ 2 (Second Heating)



รูปที่ ๑๔ เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 เมื่อให้ความร้อนรอบที่ 1 (Frist Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

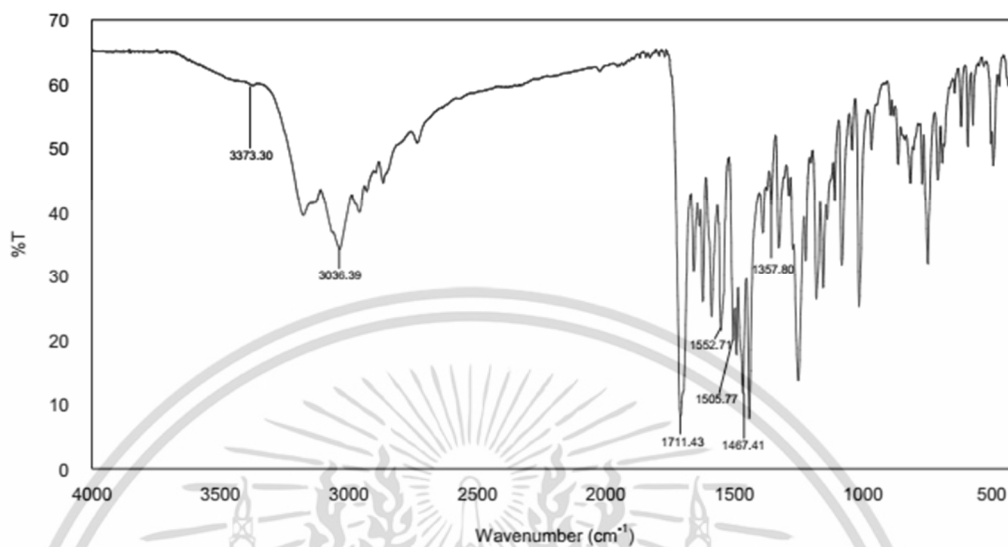


รูปที่ ๑๕.15 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของหมึกพิมพ์สูตร 82ENR50B1 เมื่อให้ความร้อนรอบที่ 2 (Second Heating)

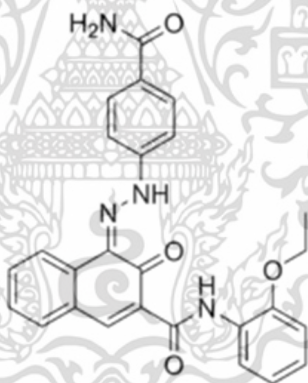
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สเปกตรัมผงสีแดง



รูปที่ ก.1 สเปกตรัมผงสีแดงประเภทหมู่เนฟทอล (Naphthol) [14]



รูปที่ ก.2 โครงสร้างผงสีแดงประเภทหมู่เนฟทอล [55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานหมึกพิมพ์พลาสติกซอล

ตารางที่ ก.1 แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานหมึกพิมพ์พลาสติกซอลจาก EVA/NR และ EVA/ENR สำหรับงานพิมพ์สกรีน

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
หมึกพลาสติกซอลสูตร.....					
1. ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์					
1.1 ความชื้นหรือความหนืดของหมึกพิมพ์ที่อุณหภูมิห้อง					
1.2 ความละเอียดของเนื้อหมึกพิมพ์					
1.3 กลิ่นของหมึกพิมพ์					
2. สมบัติเฉพาะของหมึกพิมพ์เมื่อใช้กับผ้าสกรีนที่มีความละเอียด 90T เส้นต่อนิ้ว					
2.1 หมึกพิมพ์มีความหนืดเหมาะสมกับการพิมพ์					
2.2 หมึกพิมพ์สามารถใช้ได้กับผ้าสกรีนที่มีความละเอียด					
2.3 ใช้กับแบบลายพิมพ์ที่มีลายละเอียดสูงและให้ความคมชัดของงานพิมพ์ งานลายเส้นและเม็ดสกรีนที่ละเอียด					
2.4 หมึกพิมพ์ไม่แห้งตัวที่อุณหภูมิห้อง แม่พิมพ์สกรีนไม่อุดตัน					
2.5 หมึกพิมพ์สามารถล้างออกจากแม่พิมพ์สกรีนด้วยน้ำมันสนหรือน้ำมันชักแห้ง					
3. สมบัติของหมึกพิมพ์บนผ้า cotton 100 %					
3.1 การติดของหมึกพิมพ์ตามลวดลายของแม่พิมพ์สกรีนหลังการสกรีนบนผ้าเบอร์ 40					
3.2 การติดของหมึกพิมพ์ตามลวดลายของแม่พิมพ์สกรีนหลังการสกรีนบนผ้าเบอร์ 70					
3.3 หมึกพิมพ์บนชิ้นงานแห้งโดยการอบใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 140°C					
3.4 หมึกพิมพ์มีความยืดหยุ่นที่ดี บนงานพิมพ์บนผ้า					

โดยมีระดับความพึงพอใจเป็นหมายเลข ดังนี้

5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

4 หมายถึง พึงพอใจมาก

3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

2 หมายถึง พึงพอใจน้อย

1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายประวิทย์ อาณัตินานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	19 มกราคม พ.ศ. 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	278/14 ถ.อโศกดินแดง แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320
ประวัติการศึกษา	2556 วิทยาศาสตรบัณฑิตเคมีอุตสาหกรรม เกรตเฉลี่ย 3.63 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2560 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตเทคโนโลยีพอลิเมอร์ เกรตเฉลี่ย 3.81 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนสนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาของคณะ วิทยาศาสตร์ประจำปี 2557-2558 - ทุนสนับสนุนการนำเสนอบทความทางวิชาการประจำปี 2559
ผลงานทางวิชาการ	Prawit Arnutnanon, Pathavuth Monvisade, Suparat Rukchonlatee and Vara Chaiyanit. Modified Plastisol Inks Based on EVA/ NR and EVA/ ENR. 6 th International Polymer Conference of Thailand, Pathumwan Princess Hotel, Bangkok, Thailand. June 30 - July 1, 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้