โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำจากสารให้สีในผงขมิ้นชัน
(Preparation of screen printing ink from colorant in turmeric powder)

ชื่อนิสิต นางสาวจอมขวัญ อินถามา เลขประจำตัว 5932602323
นางสาวญานิน ประเสริฐวงษ์ เลขประจำตัว 5932607523

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

****

เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคไวรัส COVID-19

ในช่วงภาคปลายของปีการศึกษา 2562

จึงส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินการได้ครบตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน

****

หัวข้อ การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำจากสารให้สีในผงขมิ้นชัน

นิสิตผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวจอมขวัญ อินถามา
	นางสาวญานิน ประเสริฐวงษ์
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ยอมรับรายงานโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

พิชญดา เกตุเมฆ ..... หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)

สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ ..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

นิสิตผู้ดำเนินโครงการ นางสาวจอมขวัญ อินถามา รหัสนิสิต 5932602323
นางสาวญานิน ประเสริฐวงษ์ รหัสนิสิต 5932607523

หัวข้อ การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำจากสารให้สีในผงขมิ้นชัน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

บทคัดย่อ วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำจากสารให้สีที่สกัดจากผงขมิ้นชันสำหรับการพิมพ์บนผ้า เริ่มแรกสกัดสารให้สีในผงขมิ้นชันด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล เตรียมหมึกพิมพ์ 15 สูตร เพื่อหาสูตรหมึกพิมพ์เบื้องต้น โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน 2 ชนิด เจลาติน และสารให้สีที่สกัดจากขมิ้นชัน สังเกตสีและความหนืดของหมึกพิมพ์ นำหมึกพิมพ์ที่เตรียมได้ไปพิมพ์ลงบนผ้าแคนวาสและทำให้หมึกแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วทดสอบการยึดติด ความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสง จากนั้นปรับสูตรหมึกพิมพ์ 11 สูตร และ 6 สูตร เพื่อสังเกตผลของอะคริลิกเรซิน B และผลของเจลาติน ตามลำดับ ต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์ จากผลการทดลองพบว่า หมึกพิมพ์ที่เตรียมได้สามารถยึดติดกับผ้าได้ดีทั้งก่อนและหลังการซัก แต่สีซีดเล็กน้อยหลังการซัก และความคงทนของสีต่อแสงต่ำ เมื่ออัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B เพิ่มขึ้น ความหนืดของหมึกลดลงและความคงทนของสีต่อแสงต่ำลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณของเจลาติน ความหนืดของหมึกเพิ่มขึ้น โดยสรุปหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำที่เตรียมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่สกัดได้สามารถใช้พิมพ์ผ้าแคนวาสได้จริง แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความทนทานของสีต่อแสง

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินการ.....จอมขวัญ อินถามา.....
ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินการ.....ญานิน ประเสริฐวงษ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์.....

Research Students Ms. Jomkwan Inthama ID No. 5932602323

Ms. Yanin Prasertwong ID No. 5932607523

Project title Preparation of screen printing ink from colorant in turmeric powder

Project Advisor Asst. Prof. Dr. Supaporn Noppakundilograt

Abstract The aim of this project was to study the preparation of water-based screen printing ink from extracted colorant from turmeric powder for printing on fabrics. Firstly, beginning with the extraction of the colorant in turmeric powder by solvent extraction with ethanol. The printing inks of 15 formulations were prepared to find the basic ink formulation by varying the ratios of 2 types of acrylic resins, gelatin and the extracted colorant from turmeric powder. The color and viscosity of ink were observed. The prepared inks were printed on the canvas fabric dried in an oven at 90 degrees Celsius for 10 minutes. The adhesion, color fastness to washing and light fastness of the prepared inks were observed. After that, the ink formulations were adjusted to 11 and 6 formulations in ordered to observed the effects of acrylic resin B and gelatin, respectively, on the properties of the printing ink and the print quality. From the results, it was found that the prepared ink could adhere well to the fabric before and after washing, but the color was slightly fade after washing and light fastness was low. When the ratio of acrylic resin B was increased, the ink viscosity and light fastness were decreased. While the amount of gelatin was increased, the ink viscosity was increased. In summary, the water-based screen printing ink with the extracted colorant from turmeric powder could be printed on the canvas fabric. But there was a limit to the light fastness.

Department of Imaging and Printing Technology

Facultly of Science

Academic year 2019

Student's signature.....จอมขวัญ อินทามา.....

Student's signature.....ญาณิน ประเสริฐวงษ์.....

Advisor's signature.....สุภาพร นพคุณดิลกโภชน์.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งยังคอยดูแลและอำนวยความสะดวกในระหว่างการดำเนินการโครงการนี้ กราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ นายสมชาย ภวชินวร เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยสอนและแนะนำการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการตลอดการดำเนินการโครงการนี้ ขอขอบคุณ นางพัชรินทร์ อร่ามรัตนพันธุ์ และนางบังอร พะยอมแย้ม เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยดำเนินการด้านเอกสารในการติดต่อขอใช้เครื่องมือจากภาควิชาอื่น

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) ของภาควิชา ขอขอบคุณ คุณดวงกมล คำนวนกิจ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน รวมถึงนางสาวกนกพร ผลมานะ และนางสาววิลาสินี ศุภางค์ นิสิตมหาบัณฑิตภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ยืมอุปกรณ์และคอยดูแล รวมถึงให้คำแนะนำการใช้งานเครื่องระเหยแบบหมุนตลอดการดำเนินการโครงการนี้

ขอขอบคุณ บริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีอะคริลิกเรซิน เพื่อใช้ในโครงการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณในการดำเนินการโครงการครั้งนี้

และสุดท้าย ขอขอบคุณครอบครัวของผู้ดำเนินโครงการที่คอยให้กำลังใจและคอยสนับสนุนตลอดทุกช่วงเวลาในการดำเนินโครงการวิจัยนี้

ผู้ดำเนินโครงการ

สารบัญ

สารบัญเรื่อง	**หน้า**
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 การพิมพ์ระบบสกรีน	3
2.2 หมึกพิมพ์ระบบสกรีน	9
2.3 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์	10
2.4 ขมิ้นชัน	12
2.5 เคอร์คูมิน (Curcumin)	14
2.6 เจลาติน	15
2.7 ผ้า	16
2.8 ผ้าแคนวาส	20
2.9 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)	20
2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 การทดลอง	**26**
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	26
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	28
3.2.1 การสกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชัน	28
3.2.2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของผ้า	28
3.2.2.1 อัตราส่วนผสม ตามมาตรฐาน ISO 1833-11: 2017 (E)	28

3.2.2.2 จำนวนเส้นด้าย ตามมาตรฐาน ISO 7211/2: 1984 (E) 28
3.2.2.3 ขนาดเส้นด้าย ตามมาตรฐาน ISO 7211/5: 1984 (E) 28
3.2.2.4 ลักษณะการทอ 29
3.2.3 การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีน 29
3.2.3.1 การเตรียมสารละลายเจลาติน 29
3.2.3.2 การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ 29
3.2.4 การทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์ 32
3.2.4.1 การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ 32
3.2.4.2 การทดสอบความคงทนของสี 32
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล **33**
4.1 ผลการสกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชัน 33
4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของผ้า 34
4.3 ผลการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสูตรหมึกพิมพ์เบื้องต้น 35
4.4 ผลการหาอัตราส่วนของอะคริลิกเรซินชนิด B ในสูตรหมึกพิมพ์ 41
4.5 ผลการหาอัตราส่วนของเจลาติน ในสูตรหมึกพิมพ์ 45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **49**
5.1 สรุปผลการทดลอง 49
5.2 ข้อเสนอแนะ 49
เอกสารอ้างอิง **51**

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทั่วไปของหมึกพิมพ์ 10
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่ใช้สีย้อมสีเหลืองทอง 22
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของหมึกพิมพ์สกรีน 22
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนใช้ในงานหลากหลายวัตถุประสงค์ 23
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15 30
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26 31
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32 32
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของเส้นใย ตามมาตรฐาน ISO 1833-11: 2017 (E) 34
ตารางที่ 4.2 จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้วของผ้า ตามมาตรฐาน ISO 7211/2: 1984 (E) 34
ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นด้ายหรือเบอร์ด้าย ตามมาตรฐาน ISO 7211/5: 1984 (E) 34
ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15 35
ตารางที่ 4.5 การยึดติดของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15 บนผ้า 36
ตารางที่ 4.6 ความคงทนของสีของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15 บนผ้า 38
ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26 42
ตารางที่ 4.8 การยึดติดของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26 บนผ้า 42
ตารางที่ 4.9 ความคงทนของสีของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26 บนผ้า 43
ตารางที่ 4.10 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32 46
ตารางที่ 4.11 การยึดติดของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32 บนผ้า 46
ตารางที่ 4.12 ความคงทนของสีของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32 บนผ้า 47

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปร่างยางปาดหมึก	7
รูปที่ 2.2 ขมิ้นชัน	13
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารบางชนิดในขมิ้นชัน	13
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเคอร์คูมิน	14
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเคอร์คูมินในรูป keto-enol tautomerism	14
รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของเจลาติน	15
รูปที่ 2.7 โครงสร้างแบบลายขัด	18
รูปที่ 2.8 โครงสร้างแบบลายทแยงหรือลายสอง	19
รูปที่ 2.9 โครงสร้างแบบต่วน	20
รูปที่ 2.10 (ก) สารละลายถูกใส่ในเครื่องระเหยแบบหมุน	21
(ข) หลังจากการระเหยตัวทำละลายอยู่ในขวดรับ	21
รูปที่ 2.11 โครงสร้างสีย้อม	21
รูปที่ 2.12 โครงสร้างสีย้อมสีเหลืองทอง	22
รูปที่ 2.13 FTIR สเปกตราของขมิ้นชันและสารเคอร์คูมินที่สกัดได้	24
รูปที่ 2.14 สมบัติการสลายตัวด้วยความร้อนของขมิ้นชัน และสารสกัดเคอร์คูมิน	25
รูปที่ 3.1 เครื่อง Rotary Evaporator	26
รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์สกรีน	27
รูปที่ 3.3 (ก) การแยกชั้นของผงขมิ้นกับสารละลายสีส้มแดง	28
(ข) สารละลายสีส้มแดงที่ถูกแยกไว้	28
รูปที่ 4.1 ผงขมิ้นที่ละลายและไม่ละลายในเอทานอล	33
รูปที่ 4.2 สารสกัดสีเหลืองส้มที่ได้จากผงขมิ้นชัน	33
รูปที่ 4.3 รอยแตกหลังจากการอบของหมึกพิมพ์สูตรที่ 9	37
รูปที่ 4.4 การยึดติดและเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 บนผ้า (ก) ก่อนการซัก	37
(ข) หลังการซัก	37
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการใช้งานหมึกพิมพ์สกรีนบนผ้าเมื่อนำไปเย็บเป็นกระเป๋าผ้า	48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

สารให้สี เป็นองค์ประกอบสำคัญในหมึกพิมพ์ทุกชนิด ซึ่งมีหน้าที่ทำให้เกิดสีบนสิ่งพิมพ์ สารให้สีแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็นสารให้สีจากธรรมชาติและสารให้สีจากการสังเคราะห์ ส่วนใหญ่ในการผลิตหมึกพิมพ์จะใช้สารให้สีที่ได้จากการสังเคราะห์ เนื่องจากมีความพร้อมและง่ายต่อการใช้งาน แต่สารให้สีจากการสังเคราะห์มีวิธีการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีที่เป็นพิษ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำและอากาศ และปัญหาอาชีวอนามัยของมนุษย์ [1] ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญของโลก มนุษย์พยายามหาวิธีแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการใช้กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การลดการใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการนำสารที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากขึ้น วัตถุดิบทดแทนและกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมถูกนำมาใช้ในการผลิตสารให้สี เพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสารให้สี โดยการใช้สารให้สีจากธรรมชาติ และใช้วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ขมิ้นชัน เป็นตัวเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตสารให้สี เนื่องจากมีสารประกอบเคอร์คูมินซึ่งให้สีเหลือง และสารประกอบเคอร์คูมินถือเป็นสารให้สีที่ยั่งยืน เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ รวมถึงมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [2] นอกจากนี้ขมิ้นชันยังเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย และมีวิธีการสกัดสารประกอบเคอร์คูมินที่ไม่ยุ่งยาก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การสกัดสารประกอบเคอร์คูมินจากขมิ้นโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ การสกัดด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมครัวเรือน [3]

สารให้สีสามารถใช้เป็นองค์ประกอบในหมึกพิมพ์ได้ทุกระบบพิมพ์ ขึ้นกับวัสดุพิมพ์และการนำไปใช้งาน แต่สำหรับการพิมพ์ระบบสกรีนมีข้อดี คือ สามารถกำหนดความหนาหรือบางของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ และสามารถพิมพ์บนวัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น กระดาษ พลาสติก โลหะ แก้ว สิ่งทอ เป็นต้น

หมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำเป็นหมึกพิมพ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย องค์ประกอบที่ใช้ในหมึกพิมพ์จึงปลอดภัยต่อผู้ใช้มากกว่าหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำมัน ในปัจจุบันมีการใช้ถุงผ้ามากขึ้นเพื่อลดขยะจากการใช้ถุงพลาสติก แต่หมึกพิมพ์สกรีนสำหรับพิมพ์ผ้าที่มีขายส่วนใหญ่เป็นหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำมัน ดังนั้น โครงการนี้จึงมุ่งเน้นการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำจากสารให้สีในผงขมิ้นชันสำหรับพิมพ์บนผ้า โดยจะศึกษาผลขององค์ประกอบใน

หมึกพิมพ์ต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์ ด้วยการวัดค่าสี ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อการซัก และความคงทนต่อการขัดถูทั้งขณะแห้งและเปียกของสิ่งพิมพ์บนผ้าตามมาตรฐาน ISO เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสำหรับพิมพ์ผ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและให้คุณภาพสิ่งพิมพ์ที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชัน

1.2.2 เพื่อเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำจากสารให้สีในผงขมิ้นชัน สำหรับพิมพ์บนผ้า

1.2.3 เพื่อศึกษาผลขององค์ประกอบในหมึกพิมพ์ต่อสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพสิ่งพิมพ์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชัน

1.3.2 เตรียมหมึกพิมพ์สกรีนจากสารให้สีในผงขมิ้นชัน

1.3.3 ออกแบบสูตรหมึกสกรีนจากสารให้สีในผงขมิ้นชัน

1.3.4 ทดสอบการยึดติด ความคงทนของสีต่อการซัก และความคงทนของสีต่อแสง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.4.1 ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง

1.4.1.1 ฝึกทักษะการศึกษา ค้นคว้า หาข้อมูลด้วยตนเอง และการฝึกคิดอย่างสร้างสรรค์

1.4.1.2 ฝึกทักษะการปฏิบัติงาน การใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และการประสานงานกับผู้อื่น

1.4.1.3 ฝึกทักษะการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าในการทำงาน

1.4.2 ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม

1.4.2.1 เป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดต้นทุนการผลิตด้วยการใช้สารให้สีจากธรรมชาติแทนการใช้สารให้สีจากการสังเคราะห์

1.4.2.2 ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตสารให้สี

1.4.2.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย

1.4.2.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนจากสารให้สีธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับหมึกพิมพ์สกรีนที่ใช้สารให้สีจากการสังเคราะห์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพิมพ์ระบบสกรีน

เป็นระบบการพิมพ์ที่มีวิธีการต่างจากระบบอื่น โดยทำการพิมพ์ด้วยการปาดหมึกที่มีความหนืดเหมาะสมผ่านรูเปิดบนแม่พิมพ์ และหมึกพิมพ์ถูกถ่ายโอนผ่านรูเปิดลงบนวัสดุรองรับ เพื่อให้ได้ลวดลายต่าง ๆ ตามแม่แบบ (artwork) ที่อยู่บนแม่พิมพ์สกรีน ระบบการพิมพ์สกรีนยังเป็นระบบที่มีวิธีการและอุปกรณ์เฉพาะตัว จึงต้องมีการเลือกอุปกรณ์มาใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของชิ้นงานที่ต้องการพิมพ์ โดยอุปกรณ์มีดังนี้ หมึกพิมพ์ กรอบสกรีน ผ้าสกรีน ยางปาด เครื่องพิมพ์สกรีน เป็นต้น [4]

การพิมพ์สกรีนถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้สอย การตกแต่งให้สวยงาม หรือใช้เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น การพิมพ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การพิมพ์ลวดลายบนผ้า เสื้อยืด ภาชนะเซรามิค บัตรพลาสติก อุปกรณ์กีฬา บรรจุภัณฑ์ เป็นต้น [5]

2.1.1 แม่พิมพ์สกรีน

แม่พิมพ์สกรีนสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะรูปทรงของแม่พิมพ์ให้เหมาะสมตามลักษณะของวัสดุที่ใช้พิมพ์ (printing Substrate) ได้ 3 ประเภท โดยแต่ละประเภทมีลักษณะ ดังนี้

2.1.1.1 แม่พิมพ์สกรีนพื้นราบ (Flatbed Screen)

แม่พิมพ์มีรูปทรงสี่เหลี่ยมแบนราบ ใช้พิมพ์บนวัสดุที่แบนราบหรือทำการออกแบบตัวยึดจับวัสดุใช้พิมพ์เพื่อให้สามารถพิมพ์ด้วยแม่พิมพ์สกรีนพื้นราบได้

2.1.1.2 แม่พิมพ์สกรีนเข้ารูปวัสดุ

แม่พิมพ์มีรูปทรงตามรูปทรงของวัสดุใช้พิมพ์ ทำให้สามารถวางให้เข้ากับรูปทรงของวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้ ช่วยให้สามารถใช้แรงกดพิมพ์ผ่านยางปาดให้หมึกไหลผ่านรูเปิดของผ้าสกรีนไปสัมผัสผิวหน้าของวัสดุใช้พิมพ์ได้ ตัวอย่างเช่น การพิมพ์บนขวดทรงกระบอก การพิมพ์บนกระจกโค้ง เป็นต้น

2.1.1.3 แม่พิมพ์สกรีนทรงกระบอก (Rotary Screen)

แม่พิมพ์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ความยาวของแม่พิมพ์จะยาวกว่าหน้ากว้างของวัสดุที่ใช้พิมพ์ มักใช้พิมพ์วัสดุที่มีความยาวต่อเนื่อง เช่น ผ้าม้วน กระดาษม้วน พลาสติกม้วน เป็นต้น โดยลักษณะของลวดลายเป็นลายซ้ำ ๆ ต่อเนื่องกันไปตลอดความยาวของวัสดุที่ใช้พิมพ์ [6]

2.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำแม่พิมพ์สกรีน

2.1.2.1 กรอบสกรีน

กรอบสกรีนที่ดีควรแข็งแรง ไม่บิดงอเมื่อถูกน้ำหรือสารเคมี โดยกรอบสกรีน มี 3 ประเภท ดังนี้

2.1.2.1.1 กรอบไม้

ส่วนใหญ่นิยมใช้ไม้สัก เพราะมีการหดตัวน้อยไม่บิดงอหรืออาจใช้ไม้แดงหรือไม้ฉำฉา เป็นต้น การใช้กรอบไม้มีข้อดี คือ น้ำหนักเบา ราคาถูก และผิวยึดเกาะกับผ้าสกรีนได้ดี สามารถใช้ลวดเย็บกรอบกับผ้าสกรีนไว้ด้วยกันได้

2.1.2.1.2 กรอบเหล็ก (สเตนเลส)

กรอบเหล็กมีข้อดี คือ มีความทนทาน ไม่โค้งงอ อีกทั้งมีอายุการใช้งานที่นาน ราคาถูก และแข็งแรงทนต่อแรงภายนอกได้ดีนิยมใช้ในต่างประเทศ มี 2 ลักษณะ คือ

(1) กรอบสเตนเลสที่ทำจากการประกอบเหล็ก มุมกรอบสกรีนจะหล่อขึ้นมาเป็นชิ้น ๆ เพื่อต่อกับแกนซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนให้ยาวหรือสั้นได้ กรอบออกแบบเป็นร่องเพื่อยึดผ้าสกรีน สามารถปรับเปลี่ยนผ้าสกรีนได้หลายชนิดโดยใช้เพียงกรอบเดียว

(2) กรอบสเตนเลสแบบน็อตยึดหรือกรอบแบบ Cam-lok เป็นกรอบเหล็กสเตนเลสที่สามารถขึงผ้าได้เองในตัวโดยไม่ต้องใช้เครื่องขึงผ้า มีลักษณะเป็นโครงเหล็กหนาเจาะเป็นร่องสำหรับใส่แท่งเหล็กประกบผ้าสกรีน มีน็อตยึดแท่งเหล็กเพื่อตรึงผ้าให้ตึงตลอดเวลา กรอบชนิดนี้มีน้ำหนักมากเหมาะแก่การพิมพ์ที่ใช้เครื่องจักร ไม่เหมาะกับการใช้แรงคน

2.1.2.1.3 กรอบอะลูมิเนียม

เป็นกรอบที่ทำจากอะลูมิเนียมเส้น ตัดให้ได้ความกว้างยาวตามที่ต้องการ แล้วต่อเชื่อมมุมแบบ 45 องศา นำกรอบไปขัดผิวให้หยาบเพื่อยึดเนื้อกาวขณะขึงผ้าสกรีนได้ดี ข้อดีของกรอบอะลูมิเนียม คือ มีน้ำหนักเบา ทนทาน ไม่ยืดหรือหดตัว ทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ขึ้นสนิม เหมาะแก่การใช้งานตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง จึงเป็นที่นิยมใช้ แม้มีราคาสูงกว่ากรอบไม้ [4,6]

2.1.3 ผ้าสกรีน

ผ้าที่ทอให้มีความละเอียดของเส้นด้ายสูง เพื่อให้จำนวนเส้นด้ายและระยะห่างของเส้นด้ายหรือรูของผ้าเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและได้มาตรฐาน เนื่องจากลักษณะของผ้าสกรีนและจำนวนรูเปิดมีผลโดยตรงต่อความคมชัดของงานพิมพ์ และเป็นตัวกำหนดปริมาณของหมึกพิมพ์ที่ไหลผ่านรูเปิดลงไปบนวัสดุที่ใช้พิมพ์ ในปัจจุบันมักใช้ผ้าสกรีนที่ทอจากเส้นใยสังเคราะห์หรือเส้นใยโลหะแทนผ้าสกรีนที่ทอจากเส้นไหม การทำแม่พิมพ์ทำโดยการขึงผ้าสกรีนให้ตึงบนกรอบ

สกรีนแล้วใช้วัสดุบางชนิด เช่น กาวอัด มาปิดรูเปิดบนผ้าสกรีนเพื่อให้หมึกพิมพ์สามารถไหลผ่านไปบนวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้เฉพาะในบริเวณที่ไม่มีการปิดรูผ้าสกรีนเท่านั้น เพื่อให้เกิดเป็นรูปร่างของตัวอักษรหรือลวดลายต่าง ๆ ตามลายบนแม่พิมพ์ [4,6]

2.1.3.1 ลักษณะการทอผ้าสกรีน

2.1.3.1.1 การทอผ้าสกรีนแบบทอเส้นเดียว (Monofilament)

เป็นการทอโดยใช้เส้นด้ายในแนวยืนหนึ่งเส้นต่อเส้นด้ายในแนวพุ่งหนึ่งเส้น เส้นใยของผ้าสกรีนที่ทอแบบเส้นเดี่ยวมีลักษณะเล็กและบาง เหมาะสำหรับนำมาใช้พิมพ์งานที่มีรายละเอียดสูง

2.1.3.1.2 การทอผ้าสกรีนแบบเส้นคู่และเส้นด้ายควบ

มีลักษณะเส้นใยที่ใหญ่ ผ้ามีความหนาถ้านำมาใช้พิมพ์งานสกรีนทำให้ภาพพิมพ์ไม่คมชัด จึงมักนำไปใช้ทำผ้ากรอง [4,6]

2.1.3.2 ชนิดของเส้นใยผ้าสกรีน

มักทอจากเส้นใยไนลอนหรือพอลิเอไมด์ (polyamide) เส้นใยพอลิเอสเทอร์ (polyester) และเส้นลวดโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมหรือปลอดสนิมหรือสเตนเลสสตีล (stainless steel) ผ้าสกรีนที่ทอจากเส้นใยแต่ละชนิดมีความเหมาะสมต่อการทำแม่พิมพ์สกรีน ดังนี้

2.1.3.2.1 ผ้าสกรีนไนลอน (Polyamide)

มีสมบัติทนทานต่อการขัดถูได้ดี จึงเหมาะสำหรับการใช้พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่มีเนื้อหมึกหยาบและแข็ง เช่น หมึกพิมพ์เซรามิก หมึกพิมพ์ผ้าชนิดรีแอกทีฟ เป็นต้น ผ้าสกรีนไนลอนมีการยืดตัวที่มากทำให้สามารถพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่มีพื้นผิวขรุขระ ผิววัสดุไม่ราบเรียบ มีความนูนหรือเว้าเล็กน้อยได้จึงสามารถใช้พิมพ์บนวัสดุที่มีรูปทรงต่าง ๆ ได้ เช่น ทรงโค้ง ทรงกระบอก เป็นต้น อีกทั้งยังมีความทนทานต่อด่างแต่ไม่ทนกรด ราคาไม่สูง ไม่เหมาะสำหรับงานพิมพ์ซ้อนสีหลายสีเพราะเส้นด้ายยืดตัว ทำให้ฉากการพิมพ์ไม่ตรงกันในแต่ละสี ผ้าสกรีนไนลอนที่ผลิตหรือทอเป็นผ้าสกรีนมีเพียงสีขาวสีเดียว

2.1.3.2.2 ผ้าสกรีนพอลิเอสเทอร์ (Polyester)

มีสมบัติการทนต่อแรงดึงในการขึงผ้าสกรีนได้ดี เส้นด้ายไม่ยืดขยายตัวตามสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง จึงใช้ขึงทำแม่พิมพ์ที่ต้องการความตึงสูง มักใช้ในการพิมพ์งานที่ต้องการความแม่นยำในการพิมพ์ การพิมพ์ซ้อนสีหลาย ๆ สี เช่น งานพิมพ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ งานพิมพ์ภาพ 4 สีโพรเซส เป็นต้น มีความทนทานต่อกรดแต่ไม่ทนด่าง ราคาค่อนข้างสูง มีการผลิตหรือทอเป็นผ้าสกรีนสีขาว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง เพื่อลดผลกระทบจาก

การสะท้อนของแสงในขณะฉายแสงสร้างภาพทำแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้แม่พิมพ์สกรีนที่มีคุณภาพดี คมชัดและขนาดภาพไม่ผิดเพี้ยนไปจากต้นฉบับที่ใช้สร้างภาพทำแม่พิมพ์

2.1.3.2.3 ผ้าสกรีนโลหะ (Sainless Steel)

ทอจากเส้นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมหรือสเตนเลสสตีล มีสมบัติทนทานต่อการขัดถูได้ดีมาก ทนแรงดึงในการขึงผ้าได้สูงมาก เส้นด้ายไม่ยืดตัวเมื่อถูกความชื้น ผ้าสกรีนโลหะมีขนาดเส้นลวดเล็กจึงให้รูเปิดที่ใหญ่กว่าผ้าสกรีนไนลอนและผ้าสกรีนพอลิเอสเทอร์ ดังนั้นขนาดเบอร์ผ้าเดียวกันจึงพิมพ์งานให้รายละเอียดได้ดีกว่าผ้าสกรีนทั้งสองชนิดข้างต้น แต่ราคาของผ้าสกรีนโลหะสูงกว่า 3-4 เท่า ความทนทานในการพิมพ์งานสูงมาก เหมาะสำหรับการใช้ทำแม่พิมพ์สกรีนที่มีปริมาณการพิมพ์ตั้งแต่หลายหมื่นแผ่นพิมพ์จนถึงหลักแสนแผ่น และใช้ในการทำแม่พิมพ์สกรีนที่ต้องการความแม่นยำของตำแหน่งภาพพิมพ์อย่างมาก งานพิมพ์ลายเส้นขนาดเล็ก ๆ แต่ต้องการความหนาของหมึกพิมพ์มาก เช่น การพิมพ์สารป้องกันการกัดด้วยกรดในแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น มีข้อเสีย คือ การยืดหยุ่นตัวของเส้นลวดต่ำมากทำให้เป็นรอยยับหรือรอยขีดบนผ้าสกรีนได้ง่าย ซึ่งรอยยับไม่คืนตัวทำให้เกิดรอยขีดหรือรอยยับปรากฏบนภาพพิมพ์ในตำแหน่งนั้นของแม่พิมพ์

และด้วยราคาที่สูงของผ้าสกรีนโลหะสเตนเลสสตีล จึงมีผู้ผลิตผ้าสกรีนโดยใช้วิธีเคลือบโลหะสเตนเลสสตีลบนผิวหน้าของเส้นด้ายพอลิเอสเทอร์เพื่อเพิ่มความต้านทานการขัดถูในการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เนื้อหยาบและแข็ง ซึ่งเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ แต่ในขณะเดียวกันได้สมบัติในการยืดหยุ่นตัวของเส้นด้ายพอลิเอสเทอร์ที่เป็นแกนกลางอยู่ภายในและผ้าสกรีนไม่เป็นรอยขีดหรือรอยยับเหมือนผ้าสกรีนโลหะ และราคาไม่สูงเหมือนผ้าสกรีนโลหะ ผ้าสกรีนประเภทนี้ เรียกว่า เมทัลไลซ์พอลิเอสเทอร์ (metallized polyester) [4,6]

2.1.4 ยางปาดหมึก (Squeegee)

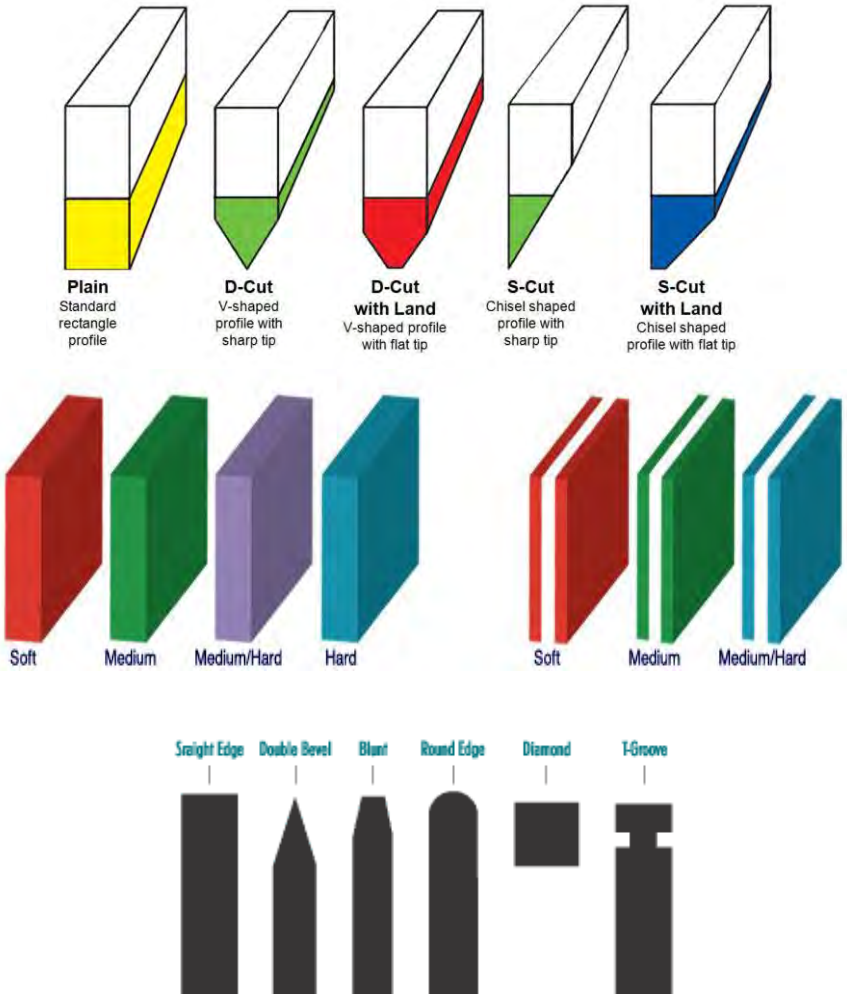
ยางปาดหมึกในงานด้านการพิมพ์สกรีน หมายถึง อุปกรณ์พื้นผิวเรียบที่ช่วยพาหมึกพิมพ์จากแม่พิมพ์สกรีนด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยที่หมึกพิมพ์ได้รับแรงกดจากยางปาดทำให้ผ่านผ้าสกรีนลงไปบนวัสดุที่พิมพ์ได้

ยางปาดหมึกเป็นอุปกรณ์ที่ส่งผลต่อปริมาณหมึกที่ซึมผ่านผ้าสกรีน รวมทั้งความหนาและความเรียบของหมึกบนชิ้นงาน คุณภาพของงานพิมพ์จึงขึ้นกับวัสดุที่ใช้ผลิตยางปาด รูปทรง แรงกด ความแข็ง ขนาด โครงสร้าง ความคม และความเรียบของยางปาด รวมถึงมุมสัมผัสของยางปาดกับผ้าสกรีน (effective squeegee angle) ความงอหรือโค้ง และแรงที่ถูกบีบของยางปาด

ยางปาดหมึกมีรูปร่างหลายแบบ ดังแสดงในรูป 2.1 และสำหรับการพิมพ์ควรเลือกความแข็งของยางให้เหมาะสมกับผิววัสดุที่ใช้พิมพ์ เพื่อควบคุมปริมาณการจ่ายหมึก และไม่สูญเสีย

รายละเอียดของภาพ ยางที่อ่อนจะช่วยจ่ายหมึกให้มีปริมาณได้มากกว่ายางที่แข็ง ดังนั้นผิววัสดุหยาบจึงควรใช้ยางที่มีความแข็งต่ำ ในขณะที่วัสดุที่มีผิวเรียบควรใช้ยางปาดที่มีความแข็งสูง โดยยางปาดที่แข็งจะให้สมบัติความทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ ได้ดีกว่ายางปาดที่อ่อนกว่า วัสดุที่ใช้ทำคือ พอลิยูรีเทน ซึ่งในการปาดหมึกควรปาดโดยการทำมุม 60 องศา เนื่องจากความแข็งของยางปาดสามารถเสริมกันได้เรียกว่า Composite Squeegee Blade เช่น Soft/Hard/Soft หรือ Soft/Hard เพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวของยาง ในกรณีที่ใช้แรงกดมากกว่าปกติเวลาใช้ยางแบบอ่อน [4,5]

สำหรับรูปร่างยางปาดในกลุ่ม Cut Edge เช่น Plain, D-cut with land หรือ S-cut with land จะเหมาะสำหรับงานพิมพ์บนวัสดุผิวราบ ในขณะที่ V shape (D-cut, S-cut) เหมาะสำหรับวัสดุผิวกลม [5]



รูปที่ 2.1 รูปร่างยางปาดหมึก [7-9]

2.1.5 กาวอัด

ผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือพอลิไวนิลแอซิเทต หรือทั้งสองผสมกันโดยผ่านกรรมวิธีปั่นกวน และเติมสารเคมีต่าง ๆ เพื่อให้มีสมบัติแตกต่างกัน เช่น สีของ กาวอัด ความหนืด (viscosity) ปริมาณของเนื้อกาวอัด (solid content) เป็นต้น ซึ่งประเภทของกาวอัดสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.1.5.1 กาวอัดแบบดั้งเดิม (Traditional emulsions)

เป็นกาวอัดที่ผสมสารไวแสงประเภทไดโครเมตและไดแอโซ กาวอัดมีสีแตกต่างกัน เช่น สีชมพู สีฟ้า สีม่วง สีเขียวแล้วแต่ผู้ผลิต การใช้งานแตกต่างกันตามลักษณะของสารไวแสงที่ใช้ เช่น การทำแม่พิมพ์สกรีนจำนวนน้อยและใช้ไฟถ่ายเป็นไฟฟลูออเรสเซนต์ ควรเลือกใช้กาวอัดที่ผสมสารไวแสงประเภทไดโครเมต เนื่องจากสามารถผสมสารไวแสงครั้งต่อครั้งให้พอการใช้งานใน 1 วัน หากเก็บกาวอัดที่ผสมสารไวแสงชนิดนี้ไว้ข้ามวันทำให้ความหนืดและความเข้มข้นของสารไวแสงลดลง จนไม่สามารถนำมาปาดบนแม่พิมพ์สกรีนได้ อัตราส่วนในการผสมสารไวแสงขึ้นกับผู้ผลิตกาวอัดเป็นผู้กำหนด

2.1.5.2 กาวอัดแบบดูอัลเคียว (Dual cure emulsions)

เป็นกาวอัดที่มีการทำปฏิกิริยา 2 ครั้ง ซึ่งแตกต่างจากกาวอัดแบบอื่น ๆ ซึ่งทำปฏิกิริยาเพียงครั้งเดียว เนื้อกาวอัดมีส่วนผสมของสารไวแสงอยู่จำนวนหนึ่ง โดยทั่วไปเรียกกาวอัดชนิดนี้ว่า โฟโตพอลิเมอร์ (photopolymer) กาวอัดประเภทนี้มีสมบัติแตกต่างจากกาวอัดแบบดั้งเดิมที่ใช้สารไวแสงประเภทไดแอโซ คือ เนื้อกาวอัดสามารถเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวได้เองแต่ไม่สมบูรณ์พอที่จะเปลี่ยนสถานะของกาวอัดให้เป็นของแข็งได้ จึงต้องเติมสารไวแสงประเภทไดแอโซอีกจำนวนหนึ่งที่ผู้ผลิตจัดเตรียมไว้เข้าไป สารไวแสงไดแอโซนี้ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นเมื่อได้รับการฉายแสงในช่วงคลื่น 410 นาโนเมตร กาวอัดประเภทนี้มีความทนทานต่อหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันและหมึกพิมพ์ฐานน้ำ สามารถเก็บรายละเอียดและความคมชัดของลวดลายได้ดีกว่ากาวอัดแบบดั้งเดิม รวมทั้งใช้เวลาในการฉายแสงน้อยกว่าจึงเหมาะสำหรับงานพิมพ์ภาพ 4 สีและแผงวงจรไฟฟ้า (PCB)

2.1.5.3 กาวอัดแบบสำเร็จรูป (One component emulsions)

เป็นกาวอัดที่มีสารไวแสงผสมอยู่เรียบร้อยแล้ว เนื้อกาวอัดกับสารไวแสงจะทำปฏิกิริยากันเอง แต่จะไม่เปลี่ยนสถานะจนกว่าจะได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ช่วงคลื่น 365 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงที่เมื่อกาวอัดได้รับแล้วสามารถทำปฏิกิริยากับสารไวแสงได้สมบูรณ์และกาวเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งยึดกับผ้าสกรีน ในการใช้งานสามารถเปิดใช้ได้ทันทีในห้องที่มีแสงสีแดงหรือสีเหลือง (safe light) ส่วนแม่พิมพ์สกรีนที่ยังไม่ผ่านการฉายแสงสามารถเก็บ

ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นต่ำ และในที่มืดได้นานประมาณ 6 เดือน โดยอายุการใช้งานของกาวอัดแบบสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาได้นาน 1-2 ปี [4-6]

2.2 หมึกพิมพ์ระบบสกรีน

หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์สกรีนนั้นจำแนกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

2.2.1 หมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ (Water-based screen ink)

มีน้ำเป็นตัวทำละลายหลัก ทำหน้าที่ละลายเรซินและให้สารสีแขวนลอย ทั้งนี้ต้องมีสารอื่น ๆ ประกอบด้วย ได้แก่ อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สารทำข้น (thickening agent) สารทำให้สีติดแน่น (fixing agent) และสารเติมแต่ง (additives) เพื่อให้คุณลักษณะเฉพาะสำหรับการนำไปใช้งาน ส่วนใหญ่นำไปใช้ในการพิมพ์ผ้า กระดาษ และพลาสติกประเภทไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี โดยในการพิมพ์ผ้ามีหลากหลายแบบ เช่น หมึกพิมพ์สีจม ใช้พิมพ์ผ้าธรรมดา, หมึกพิมพ์ลอย ใช้พิมพ์ผ้าธรรมดาที่มีสีเข้ม, หมึกพิมพ์มัน เหมือนหมึกพิมพ์ลอยแต่มีความมันวาว, หมึกพิมพ์ยาง ใช้พิมพ์ผ้าที่มีความยืดหยุ่น และหมึกพิมพ์สีนูน เมื่อพิมพ์แล้วจะนูนพองขึ้น เป็นต้น โดยหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามประเภทสารให้สี ได้แก่ หมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำประเภทสารสีและหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำประเภทสีย้อม

2.2.2 หมึกพิมพ์ฐานน้ำมัน (Solvent-based screen ink)

มีองค์ประกอบของน้ำมันและสารสะลาย ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายเรซิน ควบคุมความหนืดและสิ่งนำสารสี และสารเติมแต่งอื่น ๆ ทั้งนี้เรซินที่ใช้จะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะใช้พิมพ์

2.2.3 หมึกพิมพ์พลาสติซอล (Plastisol screen ink)

ใช้สารพลาสติไซเซอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวละลายเรซินแทนสารละลายที่ใช้ทั่วไป ซึ่งหมึกพิมพ์ชนิดนี้ช่วยเพิ่มสมบัติความนุ่มและความยืดหยุ่น อีกทั้งยังลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย หมึกพิมพ์ที่ได้มีความหนืดค่อนข้างสูง แต่เมื่อนำไปใช้งานความหนืดจะลดลงและคงที่ จึงสามารถพิมพ์งานละเอียดได้ดี โดยเฉพาะงานพิมพ์ 4 สีโพรเซสที่แห้งตัวด้วยความร้อน

2.2.4 หมึกพิมพ์ยูวี (UV screen ink)

แห้งตัวด้วยรังสียูวีเท่านั้น ซึ่งต้องมีหน่วยฉายรังสียูวี ประกอบในเครื่องพิมพ์หรือแยกต่างหาก ใช้พิมพ์งานฉลาก แผ่นซีดี และป้ายโฆษณาที่ต้องการงานพิมพ์คุณภาพสูง โดยข้อดีของหมึกพิมพ์ยูวี คือ ไม่มีสารละลายผสมอยู่ จึงปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดมลพิษ [10]

2.3 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์ ประกอบด้วย ส่วนของสารให้สี (dyeing part) และส่วนของสารยึด (binding part) ในส่วนของสารสี (pigment) นั้นได้มาจากผงสี และสีย้อม (dye) สารสีนั้นหมายถึงส่วนประกอบของสีที่ไม่ละลายในสารยึดของหมึกพิมพ์ ในขณะที่สีย้อม หมายถึงสารให้สีที่ละลายได้ในสารยึด โดยในสารยึดประกอบด้วยตัวพา ตัวพาดัดแปร และตัวทำละลาย องค์ประกอบทั่วไปของหมึกประกอบด้วยส่วนประกอบ ดังตารางที่ 2.1 [11]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทั่วไปของหมึกพิมพ์ [11]

สารให้สี		**สารยึด**		
สารสี	สีย้อม	ตัวพา	ตัวพาดัดแปร	ตัวทำละลาย
อินทรีย์ (โปร่งใส)	(โปร่งใส)	เรซินธรรมชาติ	Plastifiers	Aliphatic compounds
อนินทรีย์ (ปกปิด)		เรซินสังเคราะห์	Waxes	Aromatic compounds
			Oils	Ketones
			Wetting agents	Esters
			Stabilizing agents	Water
			Anti-foaming agents	
			Drying agents	

2.3.1 ส่วนของสารให้สี

เป็นส่วนที่กำหนดลักษณะสีของหมึกพิมพ์ แบ่งได้เป็น

2.3.1.1 สารสี

เป็นผงละเอียดสีขาวหรือสี ไม่ละลายในตัวทำละลาย เช่น น้ำหรือน้ำมัน และสามารถกระจายตัวในตัวทำละลายได้อย่างสม่ำเสมอ แบ่งได้เป็น

2.3.1.1.1 สารสีอินทรีย์

มีสมบัติที่ดีในเรื่องความโปร่งใส ยกเว้นคาร์บอนแบล็ก ซึ่งมีลักษณะกึ่งปกปิด (semi-covering) และสารสีฟลูออเรสเซ็นต์ซึ่งมีสมบัติการปกปิด

2.3.1.1.2 สารสีอนินทรีย์

มีสมบัติในการด้านปกปิดที่ดี ยกเว้นบางชนิดที่มีสมบัติด้านความโปร่งใส เช่น iron blue หรือกึ่งปกปิด เช่น Chima clay, calcium carbonate และ aluminium hydrate เป็นต้น

2.3.1.2 สีย้อม

สีย้อมมีความแตกต่างจากผงสี โดยสีย้อมมีสมบัติในด้านความโปร่งใสสูงมาก และความเข้มของสีถูกปรับด้วยสมบัติการปกปิดหรือความโปร่งใส [11] สีย้อมเป็นสารอินทรีย์ทำให้สีของเส้นใยแข็งแกร่ง สีย้อมมีหลายชนิด แบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท

2.3.1.2.1 สีย้อมธรรมชาติ

เป็นสีที่ได้จากสัตว์ พืช และแร่ธาตุ มีข้อเสียเมื่อเทียบกับสีย้อมสังเคราะห์ เช่น ความไม่สะดวกในการใช้งาน และความคงทนของสีต่ำทำให้สีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกไปยกเว้นบางตัวที่ยังใช้งานอยู่ สามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. สีย้อมจากพืช สีที่สกัดจากราก ลำต้น ใบ และผลของพืชบางชนิด เช่น สีน้ำเงินที่สกัดจากใบของสีคราม สีเหลืองสกัดจากขมิ้น สีแดงสกัดจากแมดเดอร์ และอื่น ๆ

2. สีย้อมจากสัตว์ สีที่สกัดจากสัตว์ เช่น สีแดงที่สกัดจาก cochineal เป็นต้น

3. สีย้อมจากแร่ธาตุ สีที่สกัดจากสารอนินทรีย์ในแร่ เช่น chrome yellow, ultramarine blue, สีน้ำตาล และแมงกานีสอื่น ๆ

2.3.1.2.2 สีย้อมสังเคราะห์ ส่วนใหญ่ผลิตผ่านกระบวนการทางเคมีของถ่านหิน น้ำมันดิน หรือกระบวนการแปรรูปน้ำมัน ผลิตภัณฑ์แยกส่วน เช่น เบนซีน แนฟทาลีน (napthalene) แอนทราซีน (anthacene) และ คาร์บาโซล (carbazole) เป็นต้น บางครั้งเป็นที่รู้จักกันว่าสีย้อมน้ำมันถ่านหิน เมื่อเทียบกับสีย้อมสังเคราะห์กับสีย้อมธรรมชาตินั้น จะเห็นว่าสีย้อมสังเคราะห์นั้นมีหลายชนิด และมีสีสันสดใส ล้างทำความสะอาดได้ และสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก

หากแบ่งสีย้อมตามโครงสร้างโมเลกุลจะสามารถแบ่งออกเป็น สีย้อมเอโซ, สีแอนทราควิโนน, สีฟทาโลไซยานิน (phthalocyanine) สีแอโรมาติกและสีไนโตร

และหากแบ่งตามการใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น acid dyes, basic dyes, reactive dyes, disperse dyes, direct dyes และอื่น ๆ [12]

2.3.2 ส่วนของสารยึด ประกอบด้วย

2.3.2.1 ตัวพา (Vehicle)

เป็นเรซินธรรมชาติหรือเรซินสังเคราะห์ ซึ่งตัวพาเป็นตัวหลักในการแสดงสมบัติพื้นฐานของหมึกทั้งทางเคมีและทางกายภาพ

2.3.2.1.1 เรซินจากธรรมชาติ

มีความสำคัญอย่างมากในสูตรหมึกพิมพ์ แต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มในการใช้เรซินสังเคราะห์เข้ามาแทนที่

2.3.2.1.2 เรซินสังเคราะห์

ใช้เป็นส่วนประกอบของหมึกได้ทั้งแบบเรซินชนิดเดียวหรือเรซินที่ผสมรวมกันหลายชนิด และบางครั้งยังมีการใช้เรซินสังเคราะห์ผสมกับเรซินธรรมชาติ ซึ่งการผสมกันควรอยู่ในระดับที่เรซินทั้ง 2 ชนิดสามารถเข้ากันได้ดี โดยความเข้ากันได้หมายถึงความเป็นไปได้ของเรซิน 2 ชนิด หรือมากกว่านั้น สามารถผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันและมีเสถียรภาพ เมื่อเวลาผ่านไปต้องไม่เกิดการแยกตัว การตกตะกอน หรือขุ่นมัว

ชนิดของเรซินที่นิยมใช้เป็นหลัก ได้แก่ อีพอกซี (epoxy) ไวนิล (vinyl) ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) มาเลอิก (maleic) เมลามีน (melamine) ฟีนอล-ฟอร์มาดีไฮด์ (phenol-formaldehyde) ยูเรีย-ฟอร์มาดีไฮด์ (urea-formaldehyde) อัลคิด (alkyd) พอลิเอสเทอร์ (polyester) อะคริเลต (acrylate) หรือ พอลิยูรีเทน (polyurethane)

2.3.2.2 ตัวพาดัดแปร (Modifiers)

ใช้เพิ่มเพื่อปรับให้หมึกพิมพ์มีสมบัติพิเศษบางประการ เช่น สมบัติความเป็นพลาสติก (plasticity) สมบัติความยืดหยุ่น (flexibility) ความต้านทานของผิวหน้าเชิงกล เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้เอสเทอร์ของพาทาลิก กรดซีบาซิก และกรดไกลคอลลิก เป็นตัวเพิ่มสมบัติความเป็นพลาสติก มีการใช้ขี้ผึ้งธรรมชาติ เช่น Carnauba หรือขี้ผึ้งสังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีน หรืออาจใช้น้ำมัน เช่น น้ำมันลินซีด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันจากไม้ และสุดท้ายมีการใช้เซอร์โคเนียม (zirconium) ของ กรดแนพทีน (naphthene acid) หรือ กรดออกโทนิก (octoic acid) หรือ กรดลิโนเรสินิก (linoresinic acid)

2.3.2.2 ตัวทำละลาย (Solvent)

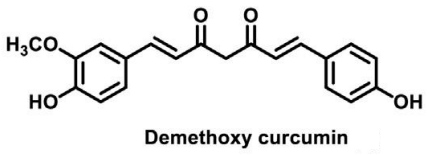
ใช้เป็นส่วนประกอบหลักที่ช่วยปรับการไหลของหมึกเพื่อให้หมึกสามารถถ่ายโอนจากแม่พิมพ์ไปสู่วัสดุพิมพ์ นอกจากนี้ยังต้องอยู่ในสภาวะที่เคลื่อนที่ได้ในกระบวนการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ โดยส่วนของตัวทำละลายนั้นจะต้องถูกกำจัดได้ด้วยการซึมลงบนวัสดุพิมพ์ หรือด้วยการระเหย [11]

2.4 ขมิ้นชัน

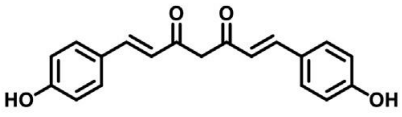
ขมิ้นชัน (รูปที่ 2.2) มีชื่อสามัญว่า Turmeric และชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Curcuma Longa, Linn* อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เป็นไม้ยืนต้น เติบโตในภูมิภาคเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน พบมากในประเทศกัมพูชา จีน อินเดีย เนปาล อินโดนีเซีย มาดากัสกา มาเลเซีย ฟิลิปปินส์และเวียดนาม ขมิ้นชันนิยมใช้เป็นเครื่องเทศ สารกันบูดในอาหาร สีผสมอาหาร รวมถึงใช้เป็นยาแผนโบราณสำหรับรักษาโรคต่าง ๆ โดยส่วนที่นิยมนำมาทำอาหารและใช้ประโยชน์ทางเภสัชวิทยา คือ เหง้า

(rhizomes) [13] ขมิ้นชัน มีสารประกอบพอลิฟีนอลประมาณร้อยละ 3-6 หรือที่รู้จักกันในชื่อเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoid) ซึ่งเป็นส่วนผสมของเคอร์คูมิน (curcumin) (รูปที่ 2.4) ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (demethoxycurcumin) บิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน (bisdemethoxycurcumin) [14] และ ไซโคลเคอร์คูมิน (cyclocurcumin) [15] ดังรูปที่ 2.3

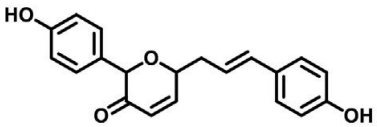
รูปที่ 2.2 ขมิ้นชัน [13]



Demethoxy curcumin



Bisdemethoxy curcumin

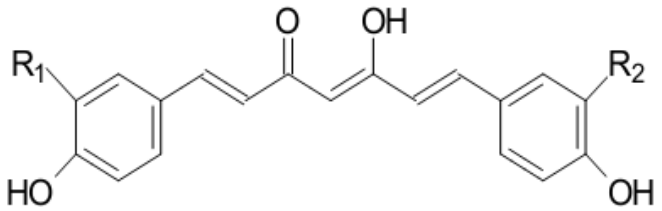


Cyclocurcumin

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสารบางชนิดในขมิ้นชัน [15]

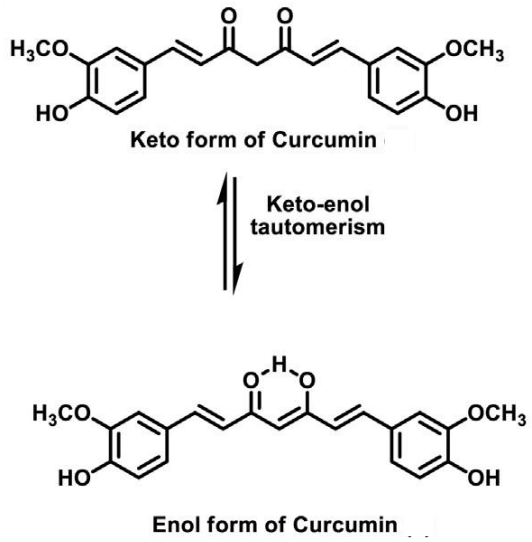
2.5 เคอร์คูมิน (Curcumin)

เคอร์คูมิน (1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadiene-3,5-dione) เป็นสารประกอบธรรมชาติที่ได้จากขมิ้นชัน (Turmeric, Curcuma Longa, Linn) ให้สีส้มเหลือง [2] จุดหลอมเหลว 183 องศาเซลเซียส [16] ในฐานะที่เคอร์คูมินเป็นสารประกอบจากธรรมชาติ ซึ่งถือได้ว่าเป็นสีที่มีความยั่งยืนเนื่องจากความเป็นพิษต่ำ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [2] โครงสร้างของเคอร์คูมินแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเคอร์คูมิน [17]

เคอร์คูมินมักแสดงในรูป keto-enol tautomerism ซึ่งขึ้นกับตัวทำละลาย โดยร้อยละ 95 อยู่ในรูปอีนอล (enol form) ดังรูปที่ 2.5



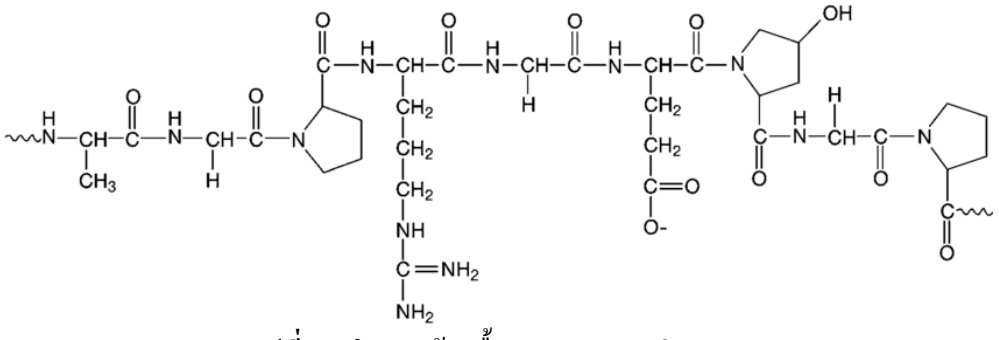
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเคอร์คูมินในรูป keto-enol tautomerism [15]

เคอร์คูมินบริสุทธิ์มีฤทธิ์เป็น superoxide anion scavenging ได้ดีกว่า ดีเมทอกซีเคอร์คูมิน และ บิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน [14] เคอร์คูมิน เป็นสารสีที่ละลายในน้ำมัน ในทางปฏิบัติไม่ละลายในน้ำที่สภาวะกรดและกลาง แต่ละลายในด่าง ซึ่งเคอร์คูมินค่อนข้างมีเสถียรภาพในสภาวะกรด แต่สลายตัวอย่างรวดเร็วในสภาวะกลางขึ้นไป อีกทั้งยังมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เสถียรในสภาวะที่มีแสงนอกจากนี้ยังมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย [18]

2.6 เจลาติน

เจลาติน เป็นสารเนื้อผสมของพอลิเปปไทด์สายเดี่ยวและหลายสาย แต่ละสายมีการขยายด้านซ้ายของ Proline helix และมีหน่วยกรดอะมิโนระหว่าง 300-4,000 ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้

สำหรับการผลิตเจลาตินจะได้เจลาตินทั้งประเภท A หรือ B โดยเจลาตินประเภท A นั้นได้มาจากการปรับปรุงคอลลาเจนที่เป็นกรดและมี Isoelectric point (pI) ระหว่าง 7.0 ถึง 9.0 อย่างไรก็ตาม เจลาตินประเภท B นั้นได้มาจากการสลายพันธะด้วยน้ำ (hydrolysis) ในอัลคาไลน์ของคอลลาเจนและมีค่า pI อยู่ระหว่าง 4.8 และ 5.0 โครงสร้างพื้นฐานของเจลาตินแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของเจลาติน [19]

เจลาตินเป็นหนึ่งในไบโอพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์อาหารและยา เจลาตินยังเป็นโปรตีนไฮโดรคอลลอยด์ (Protrinaceous Hydrocolloid) ที่ได้จากการสลายพันธะด้วยน้ำบางส่วนของคอลลาเจน เจลาตินธรรมชาติหรือเจลาตินจากธรรมชาติได้รับการปรับแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถนำไปประยุกต์ทางด้านชีววิทยาและการแพทย์ การดัดแปรพอลิเมอร์ของเจลาตินที่แตกต่างกันนั้นถูกดัดแปรเพื่อควบคุมสมบัติทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยสลายทางชีวภาพและความเสถียรของสูตรที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ดัดแปร [19]

2.7 ผ้า

ผ้า คือ วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบน สามารถผลิตจากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานเหล่านี้รวมกัน เมื่อแบ่งแยกตามลักษณะการผลิต [20]

2.7.1 ประเภทของผ้า

สามารถแบ่งประเภทของผ้าออกเป็น 3 แบบ

2.7.1.1 ผ้าทอ (Woven fabrics)

เป็นผ้าที่เกิดจากกระบวนการทอโดยใช้เครื่องทอ (weaving loom) โดยมีเส้นยืน (warp yarn) และเส้นพุ่ง (filling หรือ weft yarn) ที่ทอขัดในแนวตั้งฉากกัน และจุดที่เส้นทั้งสองสอดประสานกัน (interlacing) จะเป็นจุดที่เส้นด้ายเปลี่ยนตำแหน่งจากด้านหนึ่งของผ้าไปด้านตรงข้าม การทอในปัจจุบันมีการพัฒนาจากการทอด้วยมือ (hand looms) ไปเป็นการใช้เครื่องจักรโดยใช้เทคนิคหลากหลายรูปแบบแตกต่างกัน เช่น air-jet loom, rapier loom, water-jet loom, projectile loom, double-width loom, multiple-shed loom, circular loom และ triaxial loom

ประเภทของผ้าทอ แบ่งออกได้หลายชนิดขึ้นกับลักษณะการทอ เช่น Plain, Basket, Twill, Satin, Crepe, Dobby, Jacquard, Doublecloth, Pile, Slack-tension, Leno, และ Swivel

2.7.1.2 ผ้าถัก (Knitted fabrics)

เป็นผ้าที่เกิดจากการใช้เข็ม (needles) ถักเพื่อให้เกิดเป็นห่วงของด้ายที่มีการสอดขัดกัน (interlocking loops) โดยจะมีเส้นที่อยู่แนวตั้ง (wales) และเส้นที่อยู่ในแนวนอน (courses)

ประเภทของผ้าถักแบบ Filling-Knit fabrics เช่น Jersey, Rib structure, Interlock structure, Purl knits และแบบ Warp knit fabrics เช่น Tricot warp knit, Raschel warp knit, Simplex, Milanese

2.7.1.3 ผ้าอื่น ๆ

เป็นผ้าที่เกิดจากกระบวนการผลิตอื่นนอกเหนือไปจากการถักและทอ เช่น การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มทั้งจากสารละลายและจากการฉีดพลาสติกหลอม การขึ้นรูปเป็นโฟม และการขึ้นรูปเป็นผ้าจากเส้นใยโดยตรง เรียกว่า ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นผ้าที่เกิดจากการสานไปมาของเส้นใย (fibrous web) มีการยึดกันด้วยการที่เส้นใยพันกันไปมา (mechanical entaglement) หรือโดยการใช้ความร้อน เรซิน หรือสารเคมีในการทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเส้นใย ผ้าไม่ถักไม่ทอสามารถผลิตได้โดยหลายกระบวนการผลิต คือ

- Dry-laid เป็นการใช้ลมพ่นเส้นใยลงบนสายพานที่กำลังเคลื่อนตัวไป โดยการเรียงตัวของเส้นใยจะไม่มีทิศทาง (random oriented) ทำให้มีความแข็งแรงเท่ากันในทุก

ทิศทาง ตัวอย่างผ้าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการนี้ คือ ผ้าเช็ดเอนกประสงค์ กระดาษแยกช่องแบตเตอรี่ (battery separators) ไส้กรอง (filters) เป็นต้น

- Wet-laid เป็นการกระจายเส้นใยสั้นในน้ำ แล้วทำการกรองผ่านเพื่อแยกน้ำออกจากเส้นใยที่มีการเรียงตัวในทุกทิศทาง ตัวอย่างผ้าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการนี้ คือ ไส้กรอง ไส้ฉนวน ผ้าเช็ดเอนกประสงค์ และกระดาษแยกช่องแบตเตอรี่

- Spun-bonded เป็นการเตรียมผ้าโดยตรงจากเส้นใยที่ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดเส้นใย (spinnerets) เส้นใยต่อเนื่อง (continuous filament) ที่กำลังร้อนก็จะถูกฉีดสานไปมาบนสายพานที่กำลังหมุนอยู่ เส้นใยที่เย็นตัวลงจะมีการเชื่อมติดตรงจุดที่มีการพาดผ่านระหว่างเส้นใยด้วยกัน การเชื่อมติดอาจทำเพิ่มเติมโดยการใช้ความร้อนและแรงกด ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีนี้จะมีค่าการทนต่อแรงดึงและแรงฉีก และบาง (low bulk) ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ พื้นพรม (carpet backing) ผ้าที่ใช้ในงานธรณี (geotextiles) เสื้อผ้าป้องกัน (protective apparel) ไส้กรอง เป็นต้น

- Hydroentangled หรือ Spunlace กระบวนการผลิตคล้ายกับการผลิตผ้าไม่ถักไม่ทอแบบ spun-bond ยกเว้นใช้น้ำแรงดันสูงฉีดผ่านโครงสร้างที่สานไปมาของเส้นใย ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายผ้าทอ ผ้าที่ได้จะมีความยืดหยุ่น (elasticity) และโค้งงอ (flexibility) มากกว่า spun bond

- Melt-blown เป็นการฉีดเส้นใยผ่านหัวฉีดไปยังอากาศร้อนที่มีความเร็วสูง ทำให้เส้นใยเกิดการขาดเป็นเส้นใยสั้น ๆ ซึ่งจะถูกเก็บลงบนสายพานที่เคลื่อนที่ การยึดติดเกิดจากการสานไปมาของเส้นใยและการใช้ความร้อน เนื่องจากเส้นใยไม่ได้ผ่านการดึงยืดก่อน ผ้าที่ได้จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าชนิดอื่น เส้นใยที่ใช้เทคนิคการผลิตนี้มาก คือ เส้นใยโอเลฟิน (olefin fibers) และพอลิเอสเทอร์ (polyester fibers) ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการแพทย์ และกระดาษแยกช่องแบตเตอรี่

- Needle punching เป็นการเตรียมแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอโดยเทคนิค Dry-laid แล้วนำมาผ่านเครื่องปักเข็ม (needle loom) เพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะและความแข็งแรงของแผ่นผ้าไม่ถักไม่ทอให้มากขึ้น [20]

2.7.2 เส้นใย

เส้นใย หมายถึง วัสดุหรือสารใด ๆ ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

2.7.2.1 ประเภทของเส้นใย

แบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใย ซึ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fibers) และเส้นใยประดิษฐ์ (man-made fibers)

2.7.2.1 เส้นใยธรรมชาติ แบ่งเป็น เส้นใยพืช เช่น ฝ้าย ลินิน ปอ รามี ป่าน นุ่น เส้นใยสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (wool) ไหม (silk) ผม (hair) และแร่ เช่น แร่ใยหิน (asbestos)

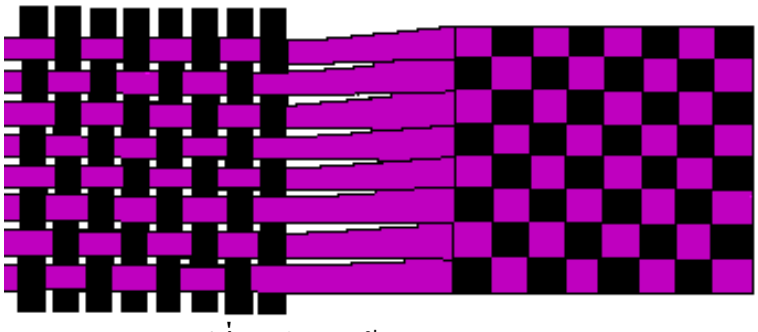
2.7.2.1 เส้นใยประดิษฐ์ แบ่งเป็น เส้นใยประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน แอซิเทต ไตรแอซีเทต เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โอเลฟิน พอลิเอสเทอร์ ไนลอน และแร่หรือเหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก กราไฟต์ [21]

2.7.3 การทอ

ผ้าทอ เกิดจากการนำเอาด้ายเส้นด้าย 2 หมู่มาสอดขัดกัน หมู่หนึ่งขึงไปตามความยาวของผ้า เรียกว่า ด้ายยืน อีกหมู่หนึ่งที่ขัดกับด้ายยืน เรียกว่า ด้ายพุ่ง มุมการขัดของเส้นด้ายทั้งสองหมู่นี้ในผ้าทอธรรมดาทั่วไป คือ มุมฉาก และแนวเส้นตรงที่ด้ายทั้งสองหมู่ขัดกัน เรียกว่า เกรน โครงสร้างการทอผ้ามี 3 รูปแบบ โดยโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่

2.7.3.1 โครงสร้างแบบลายขัด (Plain weave)

เป็นโครงสร้างที่ง่ายที่สุดเพราะแบ่งด้ายยืนออกเป็น 2 หมู่ จึงใช้ตะกอเป็น 2 อัน โดยให้ด้ายพุ่งสอดสลับขึ้น-ลงด้ายยืนครั้งละ 1 เส้น โดยลอด 1 เส้น ข้าม 1 เส้นสลับกันไปเรื่อย ๆ ทั้งผืน เส้นด้ายที่อยู่ด้านบนจะเรียกว่า เส้นลอย (float) และเมื่อกระทบให้แน่นจะขัดกับด้ายยืนเป็นมุมฉาก การทอแบบลายขัดนี้ผิวหน้าผ้าที่ได้จะเรียบแน่น และจะมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 2 ด้าน การเขียนภาพแสดงโครงสร้างของผ้าทอลายขัดจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.7



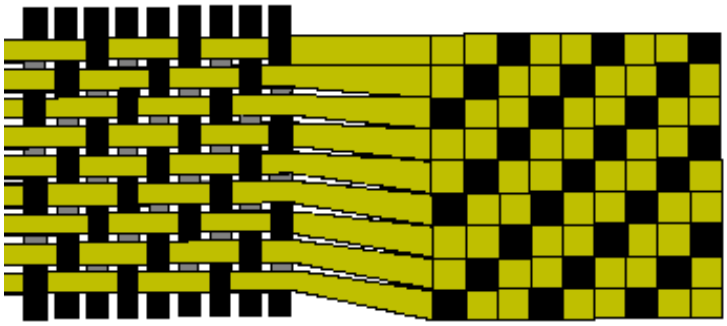
รูปที่ 2.7 โครงสร้างแบบลายขัด [22]

การทอลายขัดยังสามารถประยุกต์รูปแบบการทอได้อีกหลายวิธีเพื่อสร้างลวดลายทอให้มีความแตกต่างออกไป วิธีที่นิยม ได้แก่ การทอลายขัดสานตะกร้า (Basket weaving) คือ การกำหนดให้ด้ายยืนและด้ายพุ่งมีการสานขัดกันมากกว่า 1 เส้น เช่น ด้ายยืน 2 เส้นสานขัดกันกับด้ายพุ่ง 3 เส้น

สลับกันไป เป็นต้น เนื้อผ้าที่ได้จะไม่แน่นเท่ากับแบบลายขัดเรียบ แต่ผ้าจะยืดตัวได้ง่ายกว่า และมีความทิ้งตัวในแนวตรงได้ดี [23, 24]

2.7.3.2 โครงสร้างแบบลายทแยงหรือลายสอง (Twill weave)

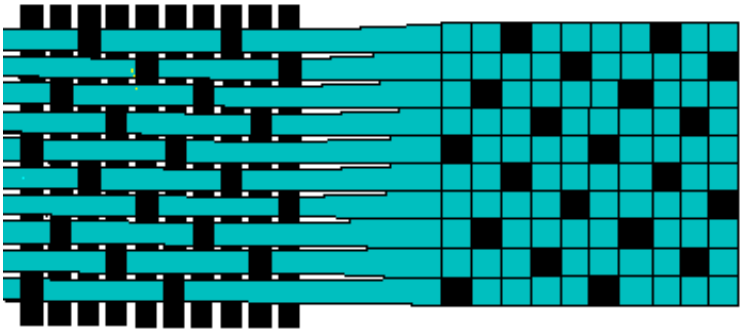
เป็นผ้าที่ใช้ได้ทนที่สุด มีลักษณะที่เด่นชัด คือ ด้ายพุ่งจะสอดขัดกับด้ายยืนทำให้เกิดสันนูนเป็นแนวเส้นทแยงบนผืนผ้า ถ้าแนวทแยงเกิดจากด้านบนซ้ายมือลงบนด้านล่างขวามือ เรียกว่า ลายสองทแยงซ้าย (Left-Hand Twill หรือ S-Twill) ถ้าเป็นแนวทแยงจากด้านบนขวามือลงมาด้านล่างซ้ายมือ เรียกว่า ลายสองทแยงขวา (Right-Hand Twill หรือ Z-Twill) ถ้าเป็นลายทแยงขวาและทแยงซ้ายลงมาพบกันที่ตรงกลางของลาย เรียกว่า ลายสองก้างปลา (Herring-Bone Twill) หรือเรียกว่า ลายสองพอยน์ (Point Twill) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการพบกันของลาย การทอลายสองที่ง่ายที่สุดจะใช้เพียง 3 ตะกอแต่ถ้าลวดลายซับซ้อนมากอาจต้องใช้ถึง 15-18 ตะกอ ผ้าลายสองส่วนใหญ่จะมีลายสองด้านของผ้าแตกต่างกัน หากด้ายยืนเป็นด้ายลอยที่ด้านถูกของผ้า ผ้าอีกด้านก็จะมีด้ายพุ่งเป็นด้ายลอย แต่ถ้าหากทอโดยใช้จำนวนด้ายพุ่งข้ามและลอดใต้ด้ายยืนในจำนวนที่เท่ากันจะทำให้เกิดลายทั้งสองด้านที่เหมือนกัน โดยเรียกว่า ผ้าลายสองสองหน้า (Even sided twill) [23, 24]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างแบบลายทแยงหรือลายสอง [22]

2.7.3.2 โครงสร้างแบบต่วน (Satin และ Sateen weave)

การทอต่วนจะมีเส้นลอย (float) ที่มีความยาวมาก โดยการทอต่วนจะกำหนดให้เส้นด้ายพุ่ง พุ่งข้ามไปบนเส้นด้ายยืนระหว่าง 4 ถึง 12 เส้น แต่จะลอดเพียงเส้นเดียว แล้วก็จะข้ามไปอีกหลายเส้นแล้วลอดอีกหนึ่งเส้นสลับต่อเนื่องกันไป การทอต่วนจะใช้ตะกออย่างต่ำสุด 5 ตะกอ ผ้าต่วนจะมีด้านถูกและผิดของผืนผ้าที่แตกต่างกันชัดเจน [23, 24]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างแบบต่วน [22]

2.8 ผ้าแคนวาส

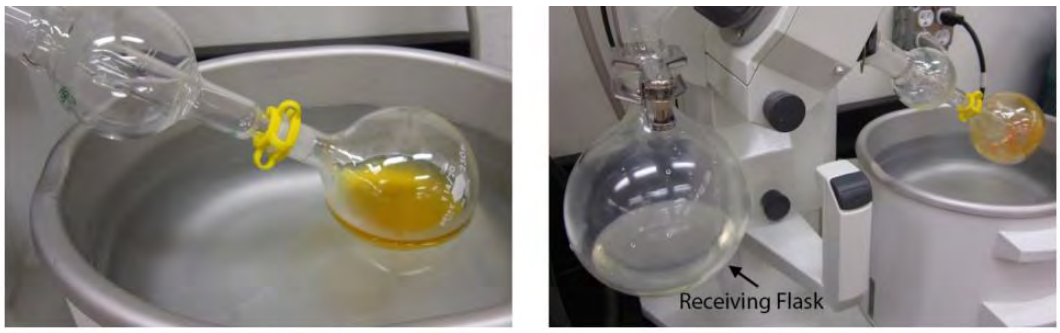
ผ้าแคนวาส (Canvas) หรือผ้าใบ จะมีลักษณะเป็นลาย เป็นผ้าธรรมดาที่ทำมาจากฝ้ายและลินิน ผ้าแคนวาสมีสมบัติในด้านความทนทาน และความแข็งแรง อีกทั้งการผสมฝ้ายกับเส้นใยสังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเทอร์ และไนลอน ทำให้ผ้าแคนวาสมีความทนทานต่อน้ำหรือกันน้ำได้ จึงเหมาะเป็นผ้าที่ใช้กับงานกลางแจ้ง

ผ้าจะถูกทอให้มีความหนาเป็นพิเศษ ลักษณะของผ้าแคนวาสหรือผ้าใบมีลักษณะคล้าย ผ้ากระสอบหรือผ้าดิบ ซึ่งผ้าแคนวาสทำจากเส้นด้ายที่ทอเข้าด้วยกันอย่างแน่นในการทอแบบธรรมดา โดยเส้นด้ายยืน (warp thread) จะอยู่บนเครื่องทอผ้า ในขณะที่เส้นด้ายพุ่ง (weft thread) จะอยู่เหนือและใต้แต่ละเส้นด้ายยืน เส้นด้ายที่ใช้สำหรับผ้าแคนวาสนั้นจะมีความหนาและความถี่ในการทอที่หนามากกว่าผ้าประเภทอื่น ๆ ทำให้เนื้อผ้าละเอียดและดูสวยงามมากกว่า

ผ้าฝ้ายแคนวาสส่วนใหญ่ทำด้วยเส้นด้ายสองชั้นหรือสองเส้นด้ายเดี่ยวบิดเข้าด้วยกัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มน้ำหนัก พื้นผิว และสร้างความหนาสม่ำเสมอตลอดทั้งผ้า โดยผ้าแคนวาสมักจะถูกนำมาทำเป็น กระเป๋าผ้า รองเท้า หรือเสื้อผ้า หรือแม้กระทั่งผ้ากันเปื้อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของสินค้าและการออกแบบ อีกทั้งใช้ในการย้อมสีอีกด้วย [25, 26]

2.9 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)

เครื่องระเหยแบบหมุน คือ การลดแรงดันในการกลั่น โดยสารละลายจะอยู่ในขวดก้นกลมวางในอ่างน้ำ (water bath) ของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2.10 (ก) และหมุนในขณะที่ระบบมีการขจัดบางส่วน (โดยเครื่องสูบอากาศหรือปั๊มสุญญากาศ) แรงดันที่ลดลงในเครื่องทำให้ตัวทำละลายเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติและการหมุนขวดจะเพิ่มพื้นที่ผิวของของเหลวและอัตราการระเหย จากนั้นไอระเหยของตัวทำละลายจะควบแน่นเมื่อสัมผัสกับตัวควบแน่นด้วยน้ำ (water condenser) และหยดลงในขวดรับตัวทำละลาย (receiving Flask) ดังรูปที่ 2.10 (ข) เมื่อตัวทำละลายถูกกำจัดออกแล้ว สารประกอบที่มีความเข้มข้นจะเหลืออยู่ในขวด



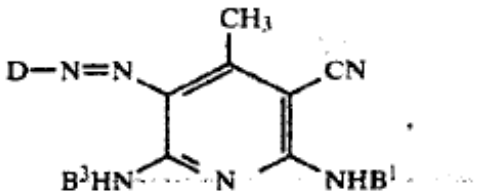
(ก) (ข)

รูปที่ 2.10 (ก) สารละลายถูกใส่ในเครื่องระเหยแบบหมุน
(ข) หลังจากการระเหยตัวทำละลายอยู่ในขวดรับ [27]

การกำจัดตัวทำละลายโดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุนดีกว่าการระเหยภายใต้ความดันบรรยากาศ กระบวนการระเหยแบบนี้มีความรวดเร็วมาก มักใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที ใช้อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงไม่น่าจะเกิดการสลายตัว และใช้พลังงานน้อยกว่าการต้มด้วยแหล่งให้ความร้อน เนื่องจากใช้ความดันต่ำเครื่องระเหยแบบหมุนจึงค่อนข้างมีประสิทธิภาพในการกำจัดตัวทำละลายที่ตกค้างออกจากสารละลาย [27]

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

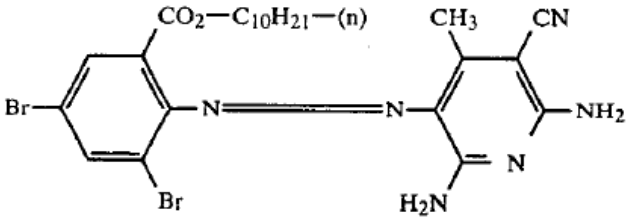
ปี พ.ศ. 2523 Juenemann และคณะ [28] คิดค้นการย้อมสีและทำการพิมพ์ลงบนสิ่งทอเซลลูโลส (cellulosic textile) โดยใช้สีย้อมที่มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างสีย้อม [28]

สีย้อมที่กล่าวไปข้างต้นสามารถนำไปทำหมึกพิมพ์ได้ โดยการเปลี่ยนหมู่ D, B^1 และ B^3 การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้อาจทำให้หมึกพิมพ์มีสีหรือสมบัติที่ไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ใช้สีย้อมดังรูปที่ 2.12 ซึ่งให้สีเหลืองทอง (Golden Yellow) และมีองค์ประกอบของหมึกดังตารางที่ 2.2

เมื่อพิมพ์ลงบนผ้าพอลิเอสเทอร์ผสมฝ้ายได้สิ่งพิมพ์ที่มีความทนต่อแสง ทนต่อการซัก และทนต่อตัวทำละลาย และหากใช้กระบวนการเดียวกันกับผ้าฝ้ายล้วน ให้ผลลัพธ์เหมือนกัน



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสีย้อมสีเหลืองทอง [28]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่ใช้สีย้อมสีเหลืองทอง

	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
สีย้อม (รูปที่ 2.12)	10
ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาระหว่าง Polyethylene oxide (MW = 300) กับ Boric acid ในอัตราส่วน 3:1	100
Oleic acid diethanolamide	30
3% Alginate thickener	860
	1000

ปี พ.ศ. 2531 Crabtree [29] คิดค้นหมึกพิมพ์สกรีนและสารเคลือบที่ปลอดสารพิษโดยมีเมทิลซาลิไซเลต (methyl salicylate) ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายในสูตร เพื่อลดปัญหาไอระเหยพิษที่เกิดจากตัวทำละลายซึ่งเป็นองค์ประกอบในหมึกพิมพ์

องค์ประกอบพื้นฐานของหมึกพิมพ์สกรีนมี 3 องค์ประกอบหลัก ดังตารางที่ 2.3 เมื่อผสมเมทิลซาลิไซเลต กับเรซิน ได้ acrylic base สามารถนำไปใช้พิมพ์โดยตรงเพื่อเป็นสารเคลือบใสหรือผสมกับสารสีเพื่อเป็นหมึกพิมพ์สกรีน

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของหมึกพิมพ์สกรีน

	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
Methyl salicylate	45
Resin	27
Pigments	28
	100

จากตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนควรมีอัตราส่วนของเมทิลซาลิไซเลต เรซิน และสารสี ประมาณร้อยละ 40-80, 5-55 และ 5-40 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบมีอัตราส่วนแตกต่างกันได้ขึ้นกับการนำไปใช้งาน

นอกจากนี้หมึกพิมพ์สกรีนอาจมีการเพิ่มตัวทำละลายร่วม (co-solvent) เข้าไปได้ เช่น น้ำ, mineral spirit, แอลกอฮอล์และ เมทิลพิรโรลิโดน (methyl pyrrolidone) ซึ่งใส่เพิ่มในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 1-20 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนใช้ในงานหลากหลายวัตถุประสงค์

	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
Methyl Salicylate	47%
Pigment Solids	5%
Alkyd Resin Solids Acrylic Resin Solids	31%
Mineral Spirits	11%
Flow Agent (Silicone rubber)	3%
	100%

เมทิลซาลิไซเลตเป็นองค์ประกอบหมึกในพิมพ์สกรีนที่ไม่ก่อให้เกิดไอระเหยพิษและไม่พบสารก่อมะเร็ง อีกทั้งยังใช้กับเรซินและสารสีได้หลายชนิด นอกจากนี้ยังมีสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ ความมันวาวสูง การไหลที่ดี การยึดติดที่ดี และการเปียกผิวสารสีที่ดีเยี่ยม

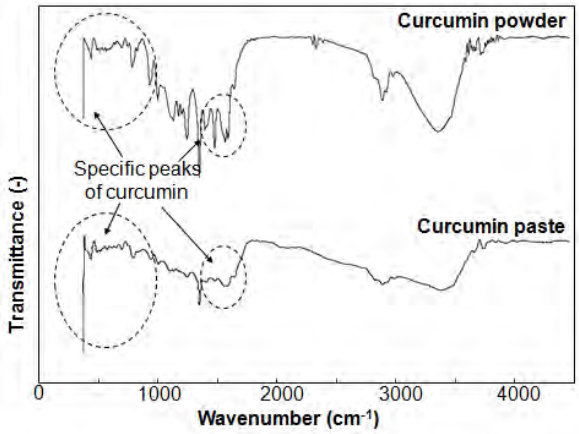
ปี พ.ศ. 2549 สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม [30] ศึกษาตัวทำละลาย อุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อการสกัดสารเคอร์คูมินจากขมิ้นชัน พบว่า สารเคอร์คูมินสามารถละลายในตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอลได้ ตามหลักการละลายกันได้ (like dissolves like) เนื่องจากสารเคอร์คูมิน เอทานอลและเมทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์เหมือนกัน แต่ที่ระยะเวลาการสกัดเท่ากัน เอทานอลสามารถละลายสารเคอร์คูมินได้ดีกว่าเมทานอล เนื่องจากเมทานอลมีโมเลกุลขนาดเล็กและเบาจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ –OH ที่ไฮโดรเจนอะตอมของเมทานอลโมเลกุลหนึ่งกับออกซิเจนอะตอมของเมทานอลอีกโมเลกุลหนึ่ง ส่งผลให้ความสามารถในการละลายสารเคอร์คูมินลดลงเมื่อเทียบกับเอทานอล

และที่ระยะเวลาการสกัดเท่ากัน ถ้าอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินที่สกัดได้มีแนวโน้มลดลง โดยความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินที่สกัดได้ทั้งจากเมทานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซียลเซียส ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซียลเซียสไม่มาก หากเทียบกับความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซียลเซียส ซึ่งต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซียลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ที่อุณหภูมิการสกัดเท่ากัน ถ้าเพิ่มระยะเวลาการสกัดนานขึ้น ปริมาณสารเคอร์คูมินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในเมทานอลและเอทานอล เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้ตัวทำละลายทั้งเมทานอลและเอทานอลสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อของขมิ้นชันได้มากขึ้นจึงได้ปริมาณสารเคอร์คูมินละลายออกมามากขึ้น

ปี พ.ศ. 2560 Nandiyanto และคณะ [3] ศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินจากขมิ้นชันในประเทศอินโดนีเซียด้วยเอทานอล พบว่า การสกัดสารเคอร์คูมินด้วยเอทานอลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และสามารถทำได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมในครัวเรือน

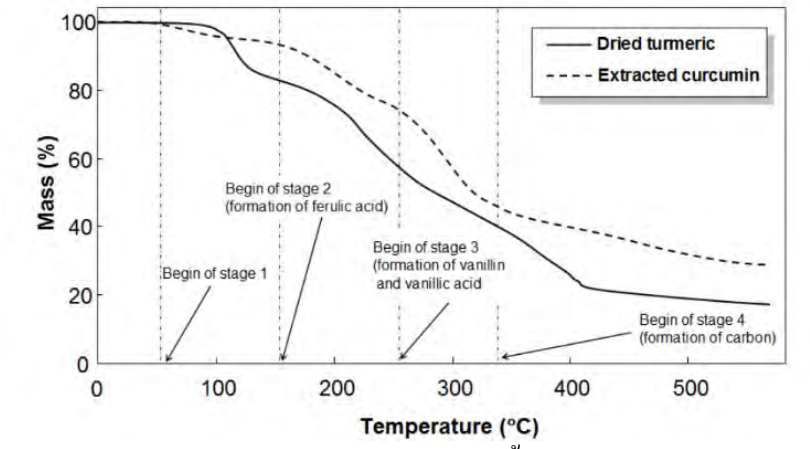
และมีการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของสารสกัดเคอร์คูมินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ได้สเปกตรา (spectra) ดังรูปที่ 2.13 พบว่า มีส่วนประกอบของสารเคอร์คูมิน อยู่ในขมิ้นชัน และที่พีค 3425.58 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชัน O–H ของ phenolic ถูกพบทั้งในขมิ้นชันและสารสกัดเคอร์คูมิน แต่พีคนี้ลดลงในสารสกัดเคอร์คูมิน ดังนั้น สารสกัดเคอร์คูมินจึงค่อนข้างไม่ละลายน้ำ เนื่องจากสารประกอบบางตัวที่ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ เช่น แป้ง น้ำตาลรีดิวซ์ เป็นต้น มีปริมาณลดลง



รูปที่ 2.13 FTIR สเปกตราของขมิ้นชันและสารเคอร์คูมินที่สกัดได้ [3]

นอกจากนี้ยังทำการตรวจสอบสมบัติการสลายตัวด้วยความร้อนของขมิ้นชันและสารสกัดเคอร์คูมิน ด้วยวิธี Thermal Gravimetry Analysis พบว่า ความร้อนมีผลต่อการสลายตัวของสาร

สกัดเคอร์คูมิน จากรูปที่ 2.14 แสดง TGA curves ของขมิ้นชันและสารสกัดเคอร์คูมิน โดยการสูญเสียมวลเริ่มต้นที่ประมาณ 60 องศาเซียลเซียส และสิ้นสุดที่ประมาณ 500 องศาเซียลเซียส มีการสูญเสียมวลร้อยละ 20 สำหรับขมิ้นชันและร้อยละ 30 สำหรับสารสกัดเคอร์คูมิน ซึ่งมวลสุดท้ายที่ได้รับเป็นผงสีดำ บ่งบอกว่าขมิ้นชันและสารสกัดเคอร์คูมินมีการสลายตัวเป็นคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งองค์ประกอบอื่นที่มีในขมิ้นชันทำให้การสลายตัวเป็นคาร์บอนได้น้อยกว่าสารสกัดเคอร์คูมิน



รูปที่ 2.14 สมบัติการสลายตัวด้วยความร้อนของขมิ้นชัน และสารสกัดเคอร์คูมิน [3]

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 ขมิ้นชันอินเดียผง (Turmeric Grade A) จากบริษัท บางกอกครูดดรักส์ อิมปอร์ต-เอ็กซ์ปอร์ต จำกัด

3.1.1.2 อะคริลิกเรซิน ชนิดที่ 1 จากบริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด

3.1.1.3 อะคริลิกเรซิน ชนิดที่ 2 จากบริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด

3.1.1.4 เจลาติน Gelatine powder-1080 (pH 4.5-6.5) จากบริษัท Ajax Finechem Pty Limited ประเทศนิวซีแลนด์

3.1.1.5 เอทานอล (Ethanol) จากบริษัท แกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.1.6 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.1.1.7 สารลดฟอง (Defoamer)

3.1.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่อง Rotary Evaporator รุ่น Laborota 4003 control (รูปที่ 3.1) จากบริษัท Heidolph Instruments GmbH & CO. KG

รูปที่ 3.1 เครื่อง Rotary Evaporator [31]

3.1.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น TB-4002 จากบริษัท Denver Instrument Company

3.1.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น PG1003-S จากบริษัท เมทเล่อร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.4 ตู้อบ รุ่น Modell 100-800 ยี่ห้อ Memmert จากบริษัท เบคไทย กรุงเทพอุปกรณ์เคมีภัณฑ์จำกัด ประเทศไทย

3.1.2.5 เครื่องให้ความร้อน (hot plate) รุ่น C-MAG HS 7 จากบริษัท IKA สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.1.2.6 ยางปาดหมึก

3.1.2.7 แม่พิมพ์สกรีน (รูปที่ 3.2)

รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์สกรีน

3.1.2.8 บีกเกอร์ขนาด 50, 150, 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร

3.1.2.9 กระบอกตวงขนาด 10 และ 100 มิลลิลิตร

3.1.2.10 หลอดทดลองขนาด 10 และ 13 มิลลิลิตร

3.1.2.11 หลอดหยดสาร

3.1.2.12 แท่งแก้วคนสาร

3.1.2.13 ช้อนตักสาร

3.1.2.14 ผ้าแคนวาส

3.1.2.15 ฟอยล์สำหรับปิดอาหาร

3.1.2.16 ขวดแก้วเก็บสาร

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การสกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชัน

ชั่งผงขมิ้นชัน 50.001 กรัม นำผงขมิ้นชันไปละลายในเอทานอล 250 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยฟอยล์ จากนั้นนำไปกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้เครื่องให้ความร้อน (hot plate) ปรับโหมด Temp เป็น 0 และโหมด Mot เป็น 2 และใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารในการกวนร่วมด้วย เมื่อกวนเรียบร้อยแล้วนำมาตั้งค้างคืนที่อุณหภูมิห้อง เห็นการแยกชั้นของผงขมิ้นและสารละลายสีส้มแดง ดังรูปที่ 3.3 (ก) จากนั้นนำหลอดดูดสารมาดูดสารละลายสีส้มแดงแยกไว้อีกบีกเกอร์ ดังรูปที่ 3.3 (ข) นำสารละลายสีส้มแดงที่ได้ไปเข้าเครื่อง Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดตัวทำละลายเอทานอลออก ได้สารละลายสีส้มแดงที่มีความเหนียวขึ้น เพื่อนำไปเตรียมหมึกพิมพ์สกรีน

(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 (ก) การแยกชั้นของผงขมิ้นกับสารละลายสีส้มแดง
(ข) สารละลายสีส้มแดงที่ถูกแยกไว้

3.2.2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของผ้า

นำผ้าที่ใช้สำหรับพิมพ์หมึกพิมพ์สกรีน ส่งไปวิเคราะห์ส่วนประกอบของผ้าที่ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยวิเคราะห์ส่วนประกอบ ดังนี้

3.2.2.1 อัตราส่วนผสม ตามมาตรฐาน ISO 1833-11: 2017 (E)

3.2.2.2 จำนวนเส้นด้าย ตามมาตรฐาน ISO 7211/2: 1984 (E)

3.2.2.3 ขนาดเส้นด้าย ตามมาตรฐาน ISO 7211/5: 1984 (E)

3.2.2.4 ลักษณะการทอ (รายการทดสอบที่ไม่ได้มีการรับรอง มอก.17025-2548 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

3.2.3 การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีน

3.2.3.1 การเตรียมสารละลายเจลาติน

ชั่งเจลาติน 3.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งน้ำปราศจากไอออน 10 กรัม ใส่ลงไปในบีกเกอร์ นำบีกเกอร์ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้แท่งแก้วคนจนเจลาตินละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นพักไว้ให้อุณหภูมิเย็นลงเล็กน้อยก่อนนำไปเตรียมหมึกพิมพ์

3.2.3.2 การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ

(1) การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสูตรหมึกพิมพ์เบื้องต้น

เตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ 15 สูตร โดยเปลี่ยนอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอะคริลิกเรซิน 2 ชนิด คือ อะคริลิกเรซินชนิดที่ 1 และ 2 ให้ชื่อเป็นอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B ตามลำดับ และสารให้สีจากขมิ้นชันเข้มข้นที่สกัดได้อยู่ในช่วง 0.059-0.16 กรัม และน้ำหนักของเจลาตินเป็น 1 กรัม ในทุกสูตร แสดงในตารางที่ 3.1

นำหมึกพิมพ์ไปพิมพ์บนผ้าขนาดประมาณ 7 × 7 เซนติเมตร โดยใช้แม่พิมพ์ที่เตรียมลวดลายไว้เรียบร้อยแล้ว วางแนบด้านบนผ้าและปาดหมึกลงบนแม่พิมพ์ จากนั้นใช้ยางปาดหมึกในการปาดหมึกลงบนผ้าตัวอย่าง นำผ้าที่พิมพ์แล้วไปให้ความร้อนในตู้อบ ยี่ห้อ Memmert รุ่น Modell 100-800 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาเก็บไว้ในที่ที่ไม่โดนแสง

จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์ตามข้อ 3.2.4.1 และ 3.2.4.2 วิเคราะห์ผลแล้วเลือกหมึกพิมพ์สูตรที่เหมาะสมไปหาอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน 2 ชนิด ในสูตรหมึกพิมพ์ต่อไป

(2) การหาอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน 2 ชนิด ในสูตรหมึกพิมพ์

จากสูตรหมึกพิมพ์สกรีนที่ได้เบื้องต้นในข้อ (1) นำมาปรับอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B โดยใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน เป็น 1:5:1 แล้วเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ใส่เจลาตินและสารให้สีจากขมิ้นชันเข้มข้นที่สกัดได้ในทุกสูตรหมึกพิมพ์ที่ 1 กรัม และ 0.12 กรัม ตามลำดับ นำหมึกพิมพ์ไปพิมพ์เช่นเดียวกับข้อ (1) จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์ตามข้อ 3.2.4.1 และ 3.2.4.2 วิเคราะห์ผลแล้วเลือกหมึกพิมพ์สูตรที่เหมาะสมไปหาอัตราส่วนของเจลาตินในสูตรหมึกพิมพ์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15

สูตรที่	ปริมาณขององค์ประกอบ			อัตราส่วนของ อะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B
	อะคริลิกเรซิน A (กรัม)	อะคริลิกเรซิน B (กรัม)	สารให้สีจากขมิ้นชัน (กรัม)	
1	0	5.0	0.059	0:5
2	3.40	3.15	0.088	1:1
3	2.01	4.03	0.088	1:2
4	2.06	6.16	0.088	1:3
5	1.01	5.04	0.088	1:5
6	4.15	2.04	0.088	2:1
7	2.04	3.14	0.088	2:3
8	6.18	2.07	0.088	3:1
9	3.12	2.11	0.088	3:2
10	4.03	5.05	0.088	4:5
11	5.04	0.3	0.073	5:0.3
12*	1.19	5.12	0.088	1:5
13**	1.02	5.03	0.15	1:5
14	4.03	5.05	0.16	4:5
15	4.06	5.13	0.13	4:5

หมายเหตุ: * ใส่ defoamer 0.059 กรัม และเจลาติน 3.01 กรัม

** ใส่ defoamer 0.075 กรัม

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26

สูตรที่	ปริมาณขององค์ประกอบ			อัตราส่วนของ
	อะคริลิกเรซิน A (กรัม)	อะคริลิกเรซิน B (กรัม)	เจลาติน (กรัม)	อะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน
16	1.00	0	1.05	1:0:1
17	1.02	1.06	1.09	1:1:1
18	1.07	6.04	1.05	1:6:1
19	1.02	7.08	1.14	1:7:1
20	1.02	10.04	1.10	1:10:1
21	1.10	11.01	1.02	1:11:1
22	1.00	12.02	1.10	1:12:1
23	1.19	13.09	1.05	1:13:1
24	1.04	14.05	1.17	1:14:1
25	1.16	15.07	1.18	1:15:1
26	1.05	18.08	1.12	1:18:1

(3) การหาอัตราส่วนของเจลาติน ในสูตรหมึกพิมพ์

เตรียมหมึกพิมพ์ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน เป็น 1:5:1 แล้วเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเจลาติน ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และใส่สารให้สีจากขมิ้นชันเข้มข้นที่สกัดได้ในทุกสูตรหมึกพิมพ์ที่ 0.12 กรัม

นำหมึกพิมพ์ไปพิมพ์เช่นเดียวกับข้อ (1) จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์ตามข้อ 3.2.4.1 และ 3.2.4.2 วิเคราะห์ผลแล้วเลือกหมึกพิมพ์สูตรที่เหมาะสมเพื่อเป็นอัตราส่วนของเจลาตินที่ดีที่สุดในการเตรียมหมึกพิมพ์นี้

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32

สูตรที่	ปริมาณขององค์ประกอบ			อัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน
	อะคริลิกเรซิน A (กรัม)	อะคริลิกเรซิน B (กรัม)	เจลาติน (กรัม)	
27	1.09	5.13	0	1:5:0
28	1.09	5.07	2.09	1:5:2
29	1.02	5.01	3.07	1:5:3
30	1.06	5.17	4.06	1:5:4
31	1.01	5.04	5.11	1:5:5
32	1.04	5.10	8.6	1:5:8.6

3.2.4 การทดสอบคุณภาพสิ่งพิมพ์

3.2.4.1 การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์

3.2.4.1.1 การทดสอบรอยแตกบนหมึกพิมพ์หลังการอบ

นำผ้าตัวอย่างที่ทำการอบแล้วมาทำการพับตามแนวผ้า เพื่อดูการเกิดรอยแตกบนหมึกพิมพ์ และพับในแนวขวางแนวผ้า เพื่อดูการเกิดรอยแตก

3.2.4.1.2 การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์หลังการซัก

นำผ้าตัวอย่างใส่ถุงซักผ้า และนำไปซักด้วยเครื่องซักผ้า LG รุ่น Fuzzy Logic 11.0 kg โดยใช้โหมดอัตโนมัติ สังเกตการหลุดลอกของหมึกพิมพ์หลังการซัก

3.2.4.2 การทดสอบความคงทนของสี

3.2.4.2.1 การทดสอบความคงทนของสีหลังการซัก

นำผ้าตัวอย่างใส่ถุงซักผ้า และนำไปซักด้วยเครื่องซักผ้า LG รุ่น Fuzzy Logic 11.0 kg โดยใช้โหมดอัตโนมัติ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซักด้วยตาเปล่า

3.2.4.2.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

นำผ้าตัวอย่างมาวางกลางแดดเป็นเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง สังเกตความเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับสีก่อนนำไปวางกลางแดด

บทที่ 4

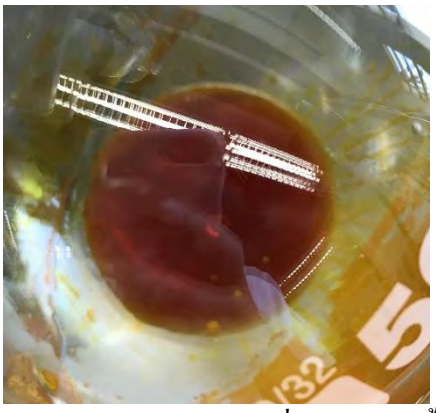
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการสกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชัน

จากการสกัดสารให้สีจากผงขมิ้นชันโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่าผงขมิ้นชันบางส่วนสามารถละลายในเอทานอล และบางส่วนไม่ละลายจึงตกตะกอนอยู่ก้นบีกเกอร์ (รูปที่ 4.1) ผงขมิ้นชันส่วนที่ละลายในเอทานอลให้สารสกัดสีเหลืองส้ม ดังรูปที่ 4.2

จากทฤษฎี ขมิ้นชันมีส่วนประกอบของเคอร์คูมิน ซึ่งให้สีเหลืองส้ม [14] โดยสามารถละลายในเอทานอลได้ [18] และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 421 นาโนเมตร [31] แสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้มีการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน และสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดงและสีเขียว ทำให้เห็นเป็นสีเหลืองส้ม ดังนั้นสารสีเหลืองส้มที่ได้จากการสกัดผงขมิ้นชันนี้ คือ เคอร์คูมิน

รูปที่ 4.1 ผงขมิ้นที่ละลายและไม่ละลายในเอทานอล



รูปที่ 4.2 สารสกัดสีเหลืองส้มที่ได้จากผงขมิ้นชัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของผ้า

จากการนำผ้าที่ใช้สำหรับพิมพ์หมึกพิมพ์สกรีนไปวิเคราะห์ส่วนประกอบของผ้าที่ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของเส้นใย ตามมาตรฐาน ISO 1833-11: 2017 (E)

ชนิดของเส้นใย	COTTON	POLYESTER
ส่วนผสม (ร้อยละ)	89.01	10.99

ตารางที่ 4.2 จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้วของผ้า ตามมาตรฐาน ISO 7211/2: 1984 (E)

	จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว
เส้นด้ายยืน	67
เส้นด้ายพุ่ง	39
รวม	106

ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นด้ายหรือเบอร์ด้าย ตามมาตรฐาน ISO 7211/5: 1984 (E)

	ขนาดเส้นด้าย (Ne)
เส้นด้ายยืน	7.9
เส้นด้ายพุ่ง	7.3

จากตารางที่ 4.1-4.3 พบว่าผ้าที่นำไปวิเคราะห์มีอัตราส่วนผสมของเส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยฝ้าย (cotton) และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ (polyester) โดยมีร้อยละของส่วนผสมเท่ากับ 89.1 และ 10.99 ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติมากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ถึงร้อยละ 78.11 และมีจำนวนเส้นด้ายยืน 67 เส้นต่อนิ้ว และจำนวนเส้นด้ายพุ่ง 39 เส้นต่อนิ้ว ซึ่งจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งมีขนาดเส้นด้ายหรือเบอร์ด้ายเท่ากับ 7.9 Ne และ 7.4 Ne ตามลำดับ โดยจำนวนเส้นด้ายบ่งบอกถึงคุณภาพของผ้า ยิ่งจำนวนเส้นด้ายต่อตารางนิ้วมากก็จะทำให้คุณภาพของผ้าดีขึ้น โดยจำนวนเส้นด้ายที่มากขึ้นจะทำให้มีความหนาแน่นมากและให้ผิวสัมผัสที่ดี [32] เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนาของผ้าเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนขนาดเส้นด้ายหรือเบอร์ด้ายนั้น ยิ่งเบอร์ด้ายสูงเส้นด้ายจะเล็ก [33] เมื่อเส้นด้ายมีขนาดเล็ก จึงทำให้ต้องใช้เส้นด้ายต่อ 1 ตารางนิ้วมาก เมื่อมีจำนวนเส้นด้ายมากก็จะทำให้ผ้ามีคุณภาพดีตามไปด้วย นอกจากนี้พบว่า มีลักษณะการทอ

แบบทอลายสอง ซึ่งเป็นลักษณะการทอโดยใช้ด้ายพุ่งสอดขัดกับด้ายยืนทำให้เกิดเป็นสันนูนในแนวทแยงของผ้า [20]

4.3 ผลการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสูตรหมึกพิมพ์เบื้องต้น

การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ 15 สูตร โดยเปลี่ยนอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B เติมสารให้สีจากขมิ้นชันเข้มข้นที่สกัดได้อยู่ในช่วง 0.059-0.16 กรัม และเจลาติน 1 กรัม พบว่า หมึกพิมพ์มีลักษณะทางกายภาพ คือ สี ความหนืด การพิมพ์ได้บนผ้า และลักษณะของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการยึดติดหลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และหลังการซัก แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก และความคงทนของสีต่อแสง แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15

สูตรที่	สีของหมึกพิมพ์	ความหนืด	การพิมพ์ได้	ลักษณะสิ่งพิมพ์หลังการอบ	
				สีบนสิ่งพิมพ์	ความทึบแสง
1	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ค่อนข้างไม่ทึบแสง
2	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงมาก
3	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
4	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
5	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
6	เหลืองอ่อน	ปานกลาง	-	-	-
7	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงมาก
8	เหลืองอ่อน	ปานกลาง	-	-	-
9	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงมาก
10	เหลืองอ่อน	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองค่อนข้างอ่อน	ทึบแสงปานกลาง
11	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงมาก
12*	เหลืองค่อนข้างอ่อน	ค่อนข้างข้น	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
13**	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
14	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
15	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง

หมายเหตุ: - ไม่ได้นำไปพิมพ์ผ้า * ใส่ defoamer 0.059 กรัม และเจลาติน 3.01 กรัม ** ใส่ defoamer 0.075 กรัม

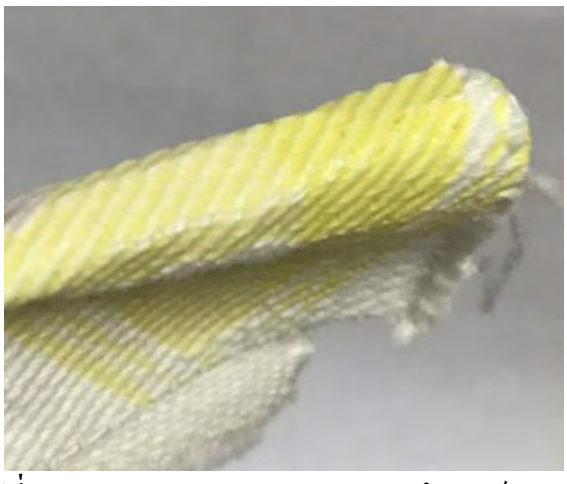
จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนสูตรที่ 1-11 (สูตรหมึกแสดงในตารางที่ 3.1) พบว่าหมึกพิมพ์ทุกสูตรสามารถพิมพ์ลงบนผ้าได้และให้สีเหลือง แต่ต่างกันที่ความเข้มสี โดยสูตรที่ 1-3, 5, 7 และ 9 ที่มีปริมาณอะคริลิกเรซินทั้งสองชนิดประมาณ 6 กรัม ให้สีเหลืองเข้มถึงเหลืองค่อนข้างเข้ม แต่เมื่อใส่อะคริลิกเรซินทั้งสองชนิดมากขึ้นเป็น 8-9 กรัม ในสูตรที่ 4, 8 และ 10 ตามลำดับ พบว่าสีของหมึกพิมพ์ที่ได้เป็นสีเหลืองอ่อนถึงเหลืองค่อนข้างเข้ม แสดงว่าปริมาณรวมของอะคริลิกเรซินมีผลต่อความเข้มสี โดยความเข้มสีลดลงเมื่อปริมาณอะคริลิกเรซินเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะคริลิกเรซินทั้งสองชนิดมีสีขาว

เมื่อพิจารณาชนิดของอะคริลิกเรซินพบว่า เมื่ออัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A ต่ออะคริลิกเรซิน B เพิ่มขึ้นในหมึกสูตรที่ 7, 9 และ 11 ความทึบแสงของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีความทึบแสงมากกว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 1, 3-5 และ 10 ที่มีปริมาณอะคริลิกเรซิน A น้อยหรือไม่มีเลย ดังสูตรที่ 1 ที่มีอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B เท่ากับ 0:5 ทำให้หมึกพิมพ์บนผ้ามีลักษณะที่ค่อนข้างไม่ทึบแสง ซึ่งสรุปได้ว่าอะคริลิกเรซิน A มีผลต่อความทึบแสงของสิ่งพิมพ์ที่ได้ สำหรับสูตรที่ 6 และ 8 ไม่ได้พิมพ์เนื่องจากให้สีเหลืองอ่อน

ตารางที่ 4.5 การยึดติดของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15 บนผ้า

สูตรที่	การยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้า*	
	หลังการอบ	หลังการซัก
1	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
2	เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
3	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
4	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
5	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
7	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
9	เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
10	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
11	เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
12	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
13	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
14	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
15	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี

หมายเหตุ: * สูตรที่ 6 และ 8 ไม่ได้นำไปพิมพ์ผ้า



รูปที่ 4.3 รอยแตกหลังจากการอบของหมึกพิมพ์สูตรที่ 9

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การยึดติดของหมึกพิมพ์หลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส หมึกพิมพ์บนผ้าสูตรที่ 2, 9 และ 11 เกิดรอยแตกเมื่อทำการพับตามแนวผ้าและแนวขวางของผ้า ดังรูปที่ 4.3 ส่วนหมึกพิมพ์บนผ้าสูตรที่ 1, 3-5, 7 และ 10 ไม่พบรอยแตก โดยสังเกตได้ว่าหมึกพิมพ์บนผ้าที่เกิดรอยแตกเมื่อทำการพับเป็นหมึกพิมพ์ที่มีอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A มากกว่าหรือเท่ากับอะคริลิกเรซิน B เนื่องจากอะคริลิกเรซิน A มีผลให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แข็งเปราะเมื่อถูกความร้อนจากการอบ จึงทำให้เกิดรอยแตกของหมึกพิมพ์ ในขณะที่อะคริลิกเรซินชนิด B ให้ความยืดหยุ่นของชั้นหมึกพิมพ์มากกว่าจึงทำให้ไม่เกิดรอยแตกหลังจากการอบ อย่างไรก็ตามแม้ว่าหมึกพิมพ์ที่เกิดรอยแตกยังสามารถยึดติดกับผ้าได้ แต่อาจส่งผลในเรื่องการทดสอบคุณภาพด้านอื่น ๆ แทน

จากนั้นเมื่อนำสิ่งพิมพ์ไปทดสอบการยึดติดหลังจากการซักด้วยเครื่องซักผ้าโดยใช้โหมดอัตโนมัติ พบว่า หมึกพิมพ์ทุกสูตรมีการยึดติดได้ดีโดยไม่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งพิมพ์ก่อนนำไปซัก ดังตัวอย่างการยึดติดของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 (รูปที่ 4.4)

(ก) (ข)

รูปที่ 4.4 การยึดติดและเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 บนผ้า
(ก) ก่อนการซัก (ข) หลังการซัก

ตารางที่ 4.6 ความคงทนของสีของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 1-15 บนผ้า

สูตรที่	การเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซัก	การเปลี่ยนแปลงของสีหลังถูกแสงที่เวลาต่าง ๆ			
		ไม่ถูกแสง	1 ชั่วโมง*	3 ชั่วโมง*	รูปการเปลี่ยนแปลงสี**
1	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงเล็กน้อย	สีซีดลงเล็กน้อย	
2	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงเล็กน้อย	สีซีดลงเล็กน้อย	
3	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงเล็กน้อย	สีซีดลงเล็กน้อย	
4	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงเล็กน้อย	สีซีดลงเล็กน้อย	
5	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงเล็กน้อย	สีซีดลงเล็กน้อย	

7	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	
9	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	
10	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	
11	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	
12	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	
13	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	

14	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง ปานกลาง	สีซีดลง ปานกลาง	
15	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง เล็กน้อย	สีซีดลง เล็กน้อย	

หมายเหตุ: * การเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเทียบกับสิ่งพิมพ์ที่ไม่ถูกแสง **แบ่ง 3 ช่อง คือ ไม่ถูกแสง, 1 ช.ม. และ 3 ช.ม.

จากตารางที่ 4.6 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซัก หมึกพิมพ์บนผ้าสูตรที่ 1-11 มีสีซีดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสีก่อนการซัก ดังตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์สูตรที่ 12 (รูปที่ 4.4) เนื่องจากเคอร์คูมินซึ่งเป็นสารให้สีในหมึกพิมพ์นี้ในทางปฏิบัติไม่ละลายในน้ำที่สภาวะกรดและกลาง แต่ละลายในด่าง [18] ซึ่งผงซักฟอกที่ใช้ในการซักอยู่ในสภาวะด่างส่งผลให้หมึกพิมพ์บนผ้าหลังจากการซักเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อซักด้วยผงซักฟอกที่เป็นด่าง

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อถูกแสง พบว่าหมึกพิมพ์ที่พิมพ์ลงบนผ้าสูตรที่ 1-11 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเก็บไว้ในที่ไม่มีแสง แต่เมื่อนำมาวางกลางแดดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง พบว่าหมึกพิมพ์บนผ้าทุกสูตรเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับสิ่งพิมพ์ที่ไม่ถูกแสง โดยเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมงมีการเปลี่ยนแปลงของสี คือ สีซีดลงเล็กน้อย สีซีดลงปานกลาง ดังตารางที่ 4.3 และจากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่าง 1 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นหมึกพิมพ์ที่พิมพ์ลงบนผ้าทุกสูตรไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเก็บไว้ในที่ไม่มีแสง แต่หากวางไว้ในที่มีแสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีโดยสีมีลักษณะซีดลง เนื่องจากสารเคอร์คูมินในขมิ้นไม่เสถียรในสภาวะที่มีแสง [18] ซึ่งสารเคอร์คูมินเป็นสารให้สีของหมึกพิมพ์นี้ ทำให้หมึกพิมพ์ไม่ทนต่อแสง สิ่งพิมพ์ที่ได้จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อถูกแสง

จากการพิจารณาตามลักษณะทางกายภาพและสมบัติต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ได้หมึกพิมพ์ที่มีสมบัติที่เหมาะสมอยู่ 2 สูตร คือสูตรที่ 3 และสูตรที่ 5 แต่เพื่อความมั่นใจว่าหมึกพิมพ์ไม่เกิดรอยแตกจากการใส่ปริมาณอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B ใกล้เคียงกัน ทำให้ผู้วิจัยเลือกหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 ที่มีอัตราส่วนอะคริลิกเรซิน A ต่ออะคริลิกเรซิน B เท่ากับ 1:5 เป็นสูตรหมึกพิมพ์ที่มีอัตราส่วนเหมาะสมสำหรับอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B

เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B จากนั้นจึงนำอัตราส่วนของหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 มาดัดแปลงโดยใส่สารลดฟอง (defoamer) ดังสูตรที่ 12 และ 13 เพื่อทำให้หมึกพิมพ์ไม่เกิดฟองอากาศเนื่องจากการกวนให้เข้ากันในระหว่างการผสมหมึกพิมพ์ พบว่าฟองอากาศที่อยู่ภายในหมึกพิมพ์ลดลงและสามารถพิมพ์ได้เช่นเดียวกันสูตรที่ 5 แต่เมื่อใส่เจลาตินเพิ่มเข้าไปจาก 1 กรัมเป็น 3.01 กรัมในสูตรที่ 12 พบว่าหมึกพิมพ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ทั้งสองสูตรยังคงพิมพ์ได้เช่นเดียวกับหมึกพิมพ์สูตรที่ 5

ในสูตรที่ 13 ได้เพิ่มปริมาณของสารให้สีจากเดิม สูตรที่ 1-12 ใช้สารให้สีปริมาณ 0.059-0.088 กรัมแต่เมื่อเพิ่มเป็น 0.15 กรัม ให้ความเข้มสีเพิ่มขึ้น จึงทดลองเพิ่มปริมาณดังสูตรที่ 14 และ 15 เป็นสูตรที่เปลี่ยนแปลงมาจากสูตรที่ 10 ซึ่งมีสีเหลืองอ่อน โดยใช้ปริมาณสารให้สี 0.16 และ 0.12 กรัม ตามลำดับ พบว่าสีของหมึกพิมพ์สูตรที่ 14 และสูตรที่ 15 ให้ผลที่คล้ายกันมาก โดยมีความเข้มสีในระดับใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการกำหนดปริมาณสารให้สีตั้งต้นสำหรับใช้ในสูตรหมึกที่จะทำการทดสอบหลังจากนี้ จึงเลือกใช้สารให้สีจากขมิ้นชันเข้มข้นที่สกัดได้ในปริมาณ 0.12 กรัม เนื่องจากให้ผลของความเข้มสีเหมือนกับสูตรที่ใส่สารให้สีในปริมาณ 0.16 กรัม และเป็นการใช้ปริมาณสารให้สีจากขมิ้นชันเข้มข้นที่สกัดได้ในปริมาณที่น้อยกว่าจึงประหยัดกว่า

ทั้งนี้จากสูตรเบื้องต้นทั้งหมด 15 สูตร เมื่อทำการประเมินในเรื่องของความเข้มสี ความทึบแสง การยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้า และการคงทนของสีต่อการซักและแสง พบว่าหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 นั้นเป็นสูตรที่เหมาะสม ซึ่งมีอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B เท่ากับ 1:5 และใช้เจลาตินประมาณ 1 กรัม สำหรับการใช้เป็นสูตรหมึกพิมพ์ตั้งต้นเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบชนิดอื่นมากที่สุด และกำหนดปริมาณสารให้สีจากขมิ้นชันสกัดเข้มข้นสำหรับหมึกพิมพ์ที่ปริมาณ 0.12 กรัม

4.4 ผลการหาอัตราส่วนของอะคริลิกเรซินชนิด B ในสูตรหมึกพิมพ์

สูตรเหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.3 คือสูตรที่ 5 มีอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน เป็น 1:5:1 เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B และใส่สารให้สีจากขมิ้นชัน 0.12 กรัม ได้หมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำ 11 สูตร คือ สูตรที่ 16-26 ซึ่งมีสี ความหนืด การพิมพ์ได้บนผ้า และลักษณะของหมึกพิมพ์หลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ผลการยึดติดหลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และการยึดติดหลังการซัก แสดงในตารางที่ 4.8 และผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก และความคงทนของสีต่อแสง แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26

สูตรที่	สีของหมึกพิมพ์	ความหนืด	การพิมพ์ได้	ลักษณะสิ่งพิมพ์หลังการอบ	
				สีบนสิ่งพิมพ์	ความทึบแสง
16	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงมาก
17	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงมาก
5	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
18	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	-	-	-
19	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	-	-	-
20	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
21	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
22	เหลืองค่อนข้างอ่อน	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองค่อนข้างอ่อน	ทึบแสงปานกลาง
23	เหลืองค่อนข้างอ่อน	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองอ่อน	ทึบแสงปานกลาง
24	เหลืองอ่อน	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองอ่อน	ทึบแสงปานกลาง
25	เหลืองอ่อน	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองอ่อน	ทึบแสงปานกลาง
26	เหลืองอ่อน	ค่อนข้างเหลว	พิมพ์ได้	เหลืองอ่อน	ทึบแสงปานกลาง

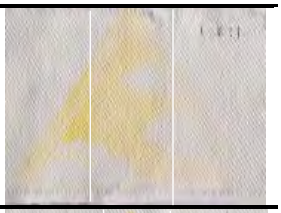
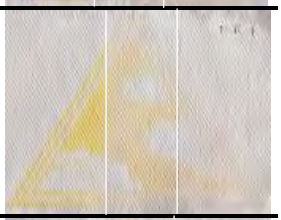
หมายเหตุ: - ไม่ได้นำไปพิมพ์ผ้า

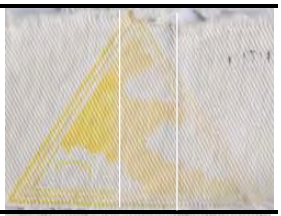
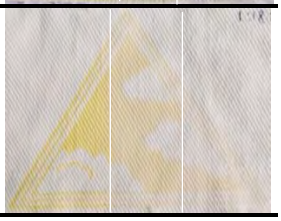
ตารางที่ 4.8 การยึดติดของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26 บนผ้า

สูตรที่	การยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้า*	
	หลังการอบ	หลังการซัก
16	เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
17	เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
20	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
21	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
22	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
23	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
24	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
25	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
26	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี

หมายเหตุ: *ไม่ได้ทำการพิมพ์สูตรที่ 18-19

ตารางที่ 4.9 ความคงทนของสีของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 16-26 บนผ้า

สูตรที่	การเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซัก	การเปลี่ยนแปลงของสีหลังถูกแสงที่เวลาต่าง ๆ			
		ไม่ถูกแสง	1 ชั่วโมง*	3 ชั่วโมง*	รูปการเปลี่ยนแปลงสี**
16	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงมาก	
17	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงเล็กน้อย	สีซีดลงปานกลาง	
20	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงปานกลาง	
21	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงปานกลาง	
22	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงปานกลาง	
23	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงมาก	สีซีดลงมาก	
24	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงมาก	สีซีดลงมากที่สุด	

25	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลง ปานกลาง	สีซีดลง ปานกลาง	
26	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงมาก	สีซีดลงมาก	

หมายเหตุ: * การเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเทียบกับสิ่งพิมพ์ที่ไม่ถูกแสง **แบ่ง 3 ช่อง คือ ไม่ถูกแสง, 1 ช.ม. และ 3 ช.ม.

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อปริมาณอะคริลิกเรซิน B เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 16-26 (ปริมาณของสารให้สีและอะคริลิกเรซิน A เท่าเดิม) สีและความหนืดของหมึกพิมพ์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอะคริลิกเรซิน B มีสีขาว และเป็นของเหลว ดังนั้นเมื่อเติมของเหลวเพิ่มเข้าไปในหมึกพิมพ์ก็ยิ่งทำให้หมึกพิมพ์เหลวลง แต่หมึกพิมพ์ทุกสูตรยังคงพิมพ์บนผ้าได้ ในส่วนของความทึบแสงดังที่เคยกล่าวในหัวข้อ 4.3 แล้วว่าอะคริลิกเรซิน A ให้สมบัติในด้านความทึบแสง ดังนั้น หมึกพิมพ์สูตรที่ 16 และ 17 จึงมีความทึบแสงมากเนื่องจากมีสัดส่วนของอะคริลิกเรซิน A มากกว่าอะคริลิกเรซิน B อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์สูตรที่ 20-26 ที่มีอะคริลิกเรซิน A น้อยกว่าอะคริลิกเรซิน B ก็ยังมีความทึบแสงอยู่แต่อยู่ในระดับปานกลาง

จากตารางที่ 4.8 พบว่า การยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส หมึกพิมพ์บนผ้าสูตรที่ 16 และ 17 เกิดรอยแตกเมื่อพับตามแนวผ้าและแนวขวางของผ้า ซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.3 เนื่องจากหมึกพิมพ์สูตรที่ 16 และ 17 มีสัดส่วนของอะคริลิกเรซิน A มากกว่าหรือเท่ากับอะคริลิกเรซิน B ซึ่งส่งผลให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์แข็งเปราะเมื่อถูกความร้อนจากการอบ จึงทำให้เกิดรอยแตกของหมึกพิมพ์ หมึกพิมพ์สูตรที่ 20-26 ที่มีอะคริลิกเรซิน B มากกว่า พบว่าหมึกพิมพ์บนผ้าไม่เกิดรอยแตกหลังจากการอบ เนื่องจากอะคริลิกเรซิน B ให้ความยืดหยุ่นของชั้นหมึกพิมพ์มากกว่า และเมื่อทดสอบการยึดติดหลังจากการซัก ไม่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์บนผ้า แสดงถึงการยึดติดที่ดีเช่นเดียวกับผลการทดสอบในหัวข้อ 4.3

การเปลี่ยนแปลงของสีหลังจากการซักและความคงทนของสีต่อแสง พบว่า หมึกทุกสูตรมีสีหลังการซักซีดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนซัก และเมื่อวางกลางแดดนานขึ้นสีซีดลง ตั้งแต่ระดับสีซีดลงเล็กน้อย สีซีดลงปานกลาง สีซีดลงมาก และสีซีดมากที่สุด ดังเหตุผลที่กล่าวในหัวข้อ 4.3 และการมีปริมาณอะคริลิกเรซิน B เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 23-26 มีผลให้สีซีดมากกว่าสูตรที่ 16-22

สำหรับหมึกพิมพ์สูตรที่ 18 และ 19 ไม่ได้ทำการพิมพ์เนื่องจากลักษณะของหมึกหลังผสมนั้นใกล้เคียงกับสูตรที่ 5 และปริมาณของอะคริลิกเรซินชนิด B ในหมึกพิมพ์ก็ใกล้เคียงกัน จึงสันนิษฐานว่าเมื่อทำการพิมพ์จะให้ผลคล้ายกันในทุกด้าน

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอะคริลิกเรซิน B ส่งผลต่อสีของหมึกพิมพ์ คือเมื่อใส่อะคริลิกเรซิน B เพิ่มขึ้นทำให้สีอ่อนลง โดยอัตราส่วนอะคริลิกเรซิน B ที่ให้ความเข้มสีที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0-13 เมื่ออัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A และเจลาตินอยู่ที่ 1 และยังส่งผลต่อความหนืดของหมึกพิมพ์ คือ เมื่อใส่อะคริลิกเรซิน B เพิ่มขึ้นทำให้หมึกพิมพ์มีความหนืดลดลงจนมีลักษณะค่อนข้างเหลว แต่ยังสามารถใช้พิมพ์บนผ้าได้ แต่หากอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B น้อยกว่าอะคริลิกเรซิน A ทำให้หมึกพิมพ์บนผ้าเกิดรอยแตกหลังจากการอบ ดังนั้น อัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B ที่ทำให้หมึกพิมพ์บนผ้าไม่แตกอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5-18 เมื่ออัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A และเจลาตินอยู่ที่ 1 เพราะฉะนั้นอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน B ที่ให้ความเข้มสีที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดรอยแตกบนผ้าอยู่ระหว่าง 5-13 เมื่ออัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A และเจลาตินอยู่ที่ 1 ดังนั้นหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 ซึ่งมีอัตราส่วนอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน เท่ากับ 1:5:1 ยังคงเป็นสูตรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเจลาตินในหัวข้อถัดไปได้ดีที่สุด (เนื่องจากสูตรที่ 18 และ 19 ยังไม่ได้ทำการพิมพ์ (จากสถานการณ์การแพร่ระบาด COVID-19) จึงยังไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่นอนว่าสูตรที่ 18 และ 19 ให้ผลดีกว่าสูตรที่ 5 ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกใช้สูตรที่ 5 เป็นสูตรที่เหมาะสม)

4.5 ผลการหาอัตราส่วนของเจลาติน ในสูตรหมึกพิมพ์

สูตรเหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.4 ยังคงเป็นหมึกพิมพ์สูตรที่ 5 ที่มีอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน เป็น 1:5:1 เมื่อนำมาเปลี่ยนอัตราส่วนของเจลาติน โดยคงปริมาณของสารให้สีจากขมิ้นชันที่ 0.12 กรัม ได้หมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำทั้งหมด 6 สูตร คือ สูตรที่ 27-32 ซึ่งมีสี ความหนืด การพิมพ์ได้บนผ้า และลักษณะของหมึกพิมพ์หลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ผลการยึดติดหลังการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และการยึดติดหลังการซักแสดงในตารางที่ 4.11 และผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก และความคงทนของสีต่อแสงแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.10 ลักษณะทางกายภาพของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32

สูตรที่	สีของหมึกพิมพ์	ความหนืด	การพิมพ์ได้	ลักษณะสิ่งพิมพ์หลังการอบ	
				สีบนสิ่งพิมพ์	ความทึบแสง
27	เหลืองเข้ม	เหลว	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
5	เหลืองเข้ม	ปานกลาง	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
28	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ปานกลาง	-	-	-
29	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ค่อนข้างข้น	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
30	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ข้น	พิมพ์ได้	เหลืองเข้ม	ทึบแสงปานกลาง
31	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ข้นมาก	พิมพ์ไม่ได้	-	-
32	เหลืองค่อนข้างเข้ม	ข้นมาก	พิมพ์ไม่ได้	-	-

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการพิมพ์

ตารางที่ 4.11 การยึดติดของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32 บนผ้า

สูตรที่	การยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้า*	
	หลังการอบ	หลังการซัก
27	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
29	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี
30	ไม่เกิดรอยแตก	ยึดติดได้ดี

หมายเหตุ: * สูตรที่ 28, 31-32 ไม่ได้ทำการพิมพ์

ตารางที่ 4.12 ความคงทนของสีของหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำสูตรที่ 27-32 บนผ้า

สูตรที่	การเปลี่ยนแปลงของสีหลังการซัก	การเปลี่ยนแปลงของสีหลังถูกแสงที่เวลาต่าง ๆ			
		ไม่ถูกแสง	1 ชั่วโมง*	3 ชั่วโมง*	รูปการเปลี่ยนแปลงสี**
27	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงปานกลาง	
29	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงปานกลาง	
30	สีซีดลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	สีซีดลงปานกลาง	สีซีดลงปานกลาง	

หมายเหตุ: * การเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเทียบกับสิ่งพิมพ์ที่ไม่ถูกแสง **แบ่ง 3 ช่อง คือ ไม่ถูกแสง, 1 ช.ม. และ 3 ช.ม.

จากตารางที่ 4.10 พบว่าหมึกพิมพ์ทุกสูตรจากสูตรที่ 27-32 (ที่มีการเพิ่มปริมาณเจลาตินขึ้นเรื่อย ๆ) ให้สีและความทึบแสงใกล้เคียงกันเนื่องจากมีอัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B เท่ากันในทุกสูตรคือ 1:5 แต่ลักษณะความหนืดของหมึกพิมพ์แตกต่างกัน พบว่าหมึกพิมพ์สูตรที่ 27-32 ซึ่งมีอัตราส่วนของเจลาตินจาก 0 ถึง 4 ตามลำดับ หมึกพิมพ์มีความหนืดเพิ่มขึ้นและยังสามารถใช้พิมพ์บนผ้าได้ถึงแม้ไม่ใส่เจลาตินเลยก็ตาม ในขณะที่หมึกพิมพ์สูตรที่ 31 และ 32 มีอัตราส่วนของเจลาตินเพิ่มขึ้นเป็น 5 และ 8.6 ส่งผลให้หมึกพิมพ์เหนียวข้นจนหมึกพิมพ์ไม่สามารถไหลผ่านรูเปิดของแม่พิมพ์สกรีน ทำให้ไม่สามารถพิมพ์ได้ ส่วนหมึกพิมพ์สูตรที่ 28 ไม่ได้ทำการพิมพ์เนื่องจากลักษณะของหมึกพิมพ์หลังผสมนั้นใกล้เคียงกับสูตรที่ 5 จึงสันนิษฐานว่าเมื่อทำการพิมพ์จะให้ผลคล้ายกันในทุกด้าน

จากตารางที่ 4.11 พบว่า หมึกพิมพ์สูตรที่ 27, 29 และ 30 มีการยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้าหลังอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และไม่เกิดรอยแตก เนื่องจากสัดส่วนของอะคริลิกเรซิน A น้อยกว่าอะคริลิกเรซิน B ส่งผลให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์มีความยืดหยุ่นจึงไม่เกิดรอยแตกหลังจากการ

อบ และการยึดติดหลังการซักมีการยึดติดที่ดีโดยไม่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์บนผ้า ให้ผลเช่นเดียวกับหมึกสูตรที่ 5

การเปลี่ยนแปลงของสีหลังจากการซักและความคงทนของสีต่อแสง พบว่า สีหลังการซักมีการซีดลงของสีเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนนำไปซัก และเมื่อวางกลางแดดนานขึ้นสีซีดลงปานกลาง

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเจลาตินส่งผลต่อความหนืดของหมึกพิมพ์เท่านั้น โดยเมื่อเพิ่มเจลาตินทำให้ความหนืดของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดเจลาตินลงทำให้ความหนืดของหมึกพิมพ์ลดลงตามไปด้วย และอัตราส่วนเจลาตินที่เหมาะสมที่ทำให้หมึกพิมพ์สกรีนนี้สามารถพิมพ์ได้อยู่ในช่วง 0-4 เมื่ออัตราส่วนของอะคริลิกเรซิน A และอะคริลิกเรซิน B อยู่ที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นเพียงตัวช่วยที่ทำให้การไหลของหมึกพิมพ์ผ่านรูเปิดของแม่พิมพ์สกรีนง่ายขึ้นเท่านั้น แต่ไม่ได้ช่วยในเรื่องคุณภาพของงานพิมพ์เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่เหลวก็ยังสามารถพิมพ์ผ่านแม่พิมพ์สกรีนได้ ดังนั้นสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลงเจลาติน คือ สูตรที่ 5 ซึ่งมีอัตราส่วนอะคริลิกเรซิน A : อะคริลิกเรซิน B : เจลาติน เท่ากับ 1:5:1 (เนื่องจากสูตรที่ 28 ยังไม่ได้ทำการพิมพ์ (จากสถานการณ์การแพร่ระบาด COVID-19) จึงยังไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่นอนว่าสูตรที่ 28 ให้ผลดีกว่าสูตรที่ 5 ดังนั้น จึงเลือกใช้สูตรที่ 5 เป็นสูตรที่เหมาะสม) ตัวอย่างงานพิมพ์และทำเป็นกระเป๋าผ้าใช้งานแสดงในรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการใช้งานหมึกพิมพ์สกรีนบนผ้าเมื่อนำไปเย็บเป็นกระเป๋าผ้า

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเตรียมหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำในโครงการนี้ได้นำสารให้สีจากผงขมิ้นชัน อะคริลิกเรซิน 2 ชนิดและเจลาตินมาเป็นองค์ประกอบของหมึกพิมพ์สกรีน ผู้วิจัยเตรียมหมึกพิมพ์จากสารให้สีในผงขมิ้นชันได้ทั้งหมด 32 สูตร โดยทุกสูตรให้สีเหลืองซึ่งได้จากสารเคอร์คูมินที่เป็นองค์ประกอบในผงขมิ้นชัน โดยแต่ละสูตรที่ได้ให้ความเข้มสีต่างกัน ขึ้นกับปริมาณอะคริลิกเรซินที่ใส่ในหมึกพิมพ์ เมื่อใส่อะคริลิกเรซินปริมาณมากทำให้หมึกพิมพ์มีสีเหลืองอ่อนลง และหากใส่อัตราส่วนอะคริลิกเรซินชนิด A มากกว่าอัตราส่วนของอะคริลิกชนิด B ทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนผ้าเกิดรอยแตกหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซียลเซียส แต่หากใช้อัตราส่วนของอะคริลิกเรซินชนิด B มากกว่าทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์มีความยืดหยุ่นและไม่เกิดรอยแตก โดยเมื่อใช้อะคริลิกเรซินชนิด B เพิ่มขึ้น ความหนืดหมึกพิมพ์เหลวลงและความเข้มสีของหมึกพิมพ์อ่อนลงด้วย แต่หมึกพิมพ์ทุกสูตรสามารถพิมพ์ได้ ในทางตรงกันข้ามสำหรับการใส่เจลาติน หากใช้เจลาตินเพิ่มขึ้น ทำให้หมึกพิมพ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่หากใส่มากเกินไปส่งผลให้ความหนืดของหมึกพิมพ์มากจนไม่สามารถพิมพ์ผ่านรูเปิดของแม่พิมพ์สกรีนได้

ในส่วนของการยึดติดของหมึกพิมพ์บนผ้า หมึกพิมพ์ทุกสูตรสามารถยึดติดได้ดีบนผ้าหลังจากการนำไปซัก แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสง โดยเมื่อหมึกพิมพ์ที่พิมพ์ลงบนผ้าผ่านการซักสีซีดลงเพียงเล็กน้อย และความคงทนของสีต่อแสงต้องปรับปรุง เนื่องจากเมื่อถูกแสงทำให้สีซีดจางลง ซึ่งเป็นผลจากสารให้สีเคอร์คูมินจากธรรมชาติที่ใช้เป็นองค์ประกอบของหมึกพิมพ์

โดยอัตราส่วนของอะคริลิเรซินชนิด A : อะคริลิกเรซินชนิด B : เจลาติน ที่เหมาะสมสำหรับหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำในโครงการวิจัยนี้คือ 1:5:1 โดยใช้สารให้สีจากสารสกัดเข้มข้นของขมิ้นในปริมาณ 0.12 กรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรหาปริมาณของสารให้สีจากขมิ้นชันที่สกัดได้ เพื่อลดข้อผิดพลาดจากผลของสารสกัดที่สกัดออกมาไม่เหมือนกัน

5.2.2 สำหรับการผสมหมึกควรใช้เครื่องกวนในการผสมหมึก (ink mixer) เพื่อให้องค์ประกอบต่าง ๆ ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้แท่งแก้วกวนจะต้องใช้เวลาในการผสมให้เข้ากันนาน อีกทั้งหมึกพิมพ์อาจไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน และในขณะเดียวกันต้องระวังการระเหยของสารละลายภายในหมึกพิมพ์ด้วย

5.2.3 ผ้าที่ทำการพิมพ์แล้วต้องทำการเก็บในที่ที่ไม่มีแสง เนื่องจากแสงทำให้เกิดการซีดจางลงของสี

5.2.4 จากการทดลองทั้งหมดพบว่าหมึกพิมพ์ที่ผสมขึ้นได้นั้นไม่มีความคงทนของสีต่อแสง ซึ่งควรแก้ไขด้วยการใส่สารดูดกลืนแสงยูวี (UV absorbers) เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในเรื่องการคงทนของสีต่อแสง

5.2.5 ควรทำการพิมพ์ทดสอบสูตรหมึกพิมพ์ที่ 6, 8, 18, 19 และ 28 ที่ไม่ได้พิมพ์และวิเคราะห์ผลด้วย เพื่อเป็นการยืนยันผลของสูตรหมึกที่เหมาะสมให้ชัดเจนและแม่นยำมากขึ้น

5.2.6 ควรส่งตัวอย่างการพิมพ์ทดสอบบนผ้าไปวิเคราะห์ที่ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบสิ่งทอเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ชัดเจน และสามารถบ่งบอกลักษณะของหมึกพิมพ์แต่ละชนิดได้อย่างละเอียด แต่เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถทำตัวอย่างการพิมพ์เพื่อส่งตรวจได้ทัน จึงไม่สามารถทำตามแผนงานที่เตรียมไว้ได้ทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

[1] Lutamyo Nambela, Liberato Venant Haule, and Quintino Mgani. (2020). “A review on source, chemistry, green synthesis and application of textile colorants.” **Journal of Cleaner Production**. (246), 2-3.

[2] Molla Tadesse Abate, Ada Ferri, Jinping Guan, Guoqiang Chen, and Vincent Nierstrasz. (2019). “Colouration and bio-activation of polyester fabric with curcumin insupercritical CO_2: Part I - Investigating colouration properties.” **The Journal of Supercritical Fluids.** (159), 2.

[3] Asep Bayu Dani Nandiyanto, Ani Siti Wiryani, Arvina Rusli, Annisa Purnamasari, Ade Gafar Abdullah, Ana, Isma Widiaty, and Ratih Hurriyati. (2017). “Extraction of Curcumin Pigment from Indonesian Local Turmeric with Its Infrared Spectra and Thermal Decomposition Properties.” **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. (180), 1-5.

[4] ศักดิ์ชัย เกียรตินาคินทร์. (2548). **การพิมพ์ซิลค์สกรีน Silk Screen Printing**. กรุงเทพมหานคร: สิปประภา.

[5] อรัญ หาญสืบสาย. (2557). **เทคโนโลยีการพิมพ์ ความก้าวหน้าและการนำไปใช้.** กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] วิเชียร และนงเยาว์ จิระกรานนท์. (2546). **การพิมพ์สกรีน Screen Print Techniques.** กรุงเทพมหานคร: อุษาการพิมพ์.

[7] Screen Printing Squeegees Rubber and Blades. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2563 จาก https://beta-chemical.com/squeegee-rubber-and-blades/

[8] FARON S AND FARON T SQUEEGEE BLADES RANGES. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2563 จาก http://www.squeegeeblade.co.uk/faron_squeegee_blades_range/

[9] Squeegee Selection and Maintenance. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2563 จาก http://mail.printersedg
e.com/squeegee-selection-and-maintenance/info_4.html

[10] อรัญ หาญสืบสาย. (2556). “การพิมพ์สกรีน.” **วารสารการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์.** 25(102), หน้า 101, 111.

[11] Alberto Gilli. (2010). “Ink for silk-screen printing and corresponding printing technique.” **United States Patent.** (7,799,380 B2).

[12] Dye. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก https://www.chemicalbook.com/ProductCatalog_EN/1611.htm

[13] Roshan Prasad Yadav, and Gaur Tarun. (2017). “Versatility of turmeric: A review the golden spice of life.” **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. 6(1), 41-42.

[14] Abhishek Niranjan, and Dhan Prakash. (2008). “Chemical constituents and biological activities of turmeric (Curcuma longa L.) -A review.” **Journal of Food Science and Technology.** 45(20), 109-110.

[15] Shweta Agarwal, Ritu Mishra, Anil Kumar Gupta, and Atul Gupta. (2018). “Turmeric: isolation and synthesis of important biological molecules.” In **Synthesis of Medicinal Agents from Plants,** 109. Edited by Ashish Tewari and Supriya Tiwari, Elseiver.

[16] Curcumin: Chemical and Physical Properties. สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2563 จาก https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Curcumin#section=Chemical-and-Physical-Properties

[17] Namita Bhardwaj, and Umakant Dadsena. (2017). “Extraction and evaluation of dyeing quality of natural curcumin.” **Journal of Innovations in Applied Pharmaceutical Science (JIAPS).** 3(2), 1.

[18] Curcumin. สืบค้นเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2563 จาก http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/61/Curcumin.pdf

[19] Sushma Kommareddy, Dinesh B. Shenoy, and Mansoor M. Amiji. (2007). “Gelatin Nanoparticles and Their Biofunctionalization.” In **Nanotechnologies for the Life Sciences,** 331-332. Edited by Challa S.S.R. Kumar, Wiley-VCH.

[20] วิทยาศาสตร์สิ่งทอ ผ้า (Fabrics). สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก https://www2.mtec.or.th/th/research/textile/fabrics.html

[21] วิทยาศาสตร์สิ่งทอ เส้นใย (Fibers). สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก https://www2.mtec.or.th/th/research/textile/textile_sci.html

[22] WOVEN MATERIALS. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก http://favonius.com/soaring/materials/material.htm

[23] นคร คงช่วย. (2539). “การทอ.” ใน **ความรู้เรื่องผ้า,** บทที่ 30. กรุงเทพมหานคร: สร้างสรรค์วิชาการ จำกัด.

[24] เผ่าภิญโญศ์ ฉิมพะเนาว์. (2551). **การออกแบบลายทอผ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ JK-Weave.** เชียงใหม่: วนิดา การพิมพ์,

[25] ผ้าแคนวาส. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก https://www.tnc-intertextiles.com/TH/category/canvas.html.

[26] MARC JACOBS, What Is Canvas? Understanding How Canvas Is Made and the Difference Between Canvas and Duck. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก https://www.masterclass.com/articles/what-is-canvas-understanding-how-canvas-is-made-and-the-difference-between-canvas-and- duck#how-is-canvas-made.

[27] Lisa Nichols. (2016). "Rotary Evaporation." In **Organic Chemistry Laboratory Techniques,** 300. Edited by Lisa Nichols, licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

[28] Warner Juenemann, Bad Durkheim, Gunther Laam Hassloch, and Hermann Loeffler Speyer. (1981) "DYEING AND PRINTING OF CELLULOSIC TEXTILE MATERIAL." **United States Patent.** (4,276,045).

[29] David W. Crabtree. (1990). "NON-TOXIC SCREEN PRINTING COMPOSITION." **United States Patent**. (4,910,239).

[30] สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2549). "อิทธิพลของอุณหภูมิ เวลา และตัวทำละลายที่มีต่อการสกัดสารเคอร์คูมินจากขมิ้นชัน." **วิศวกรรมสาร มข.** 33(3), 225-236.

[31] Laborota 4002 / 4003 control Manual. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563 จาก https://heidolph-instruments.com/documents/operation%20manuals/rotary%20evaporator/Operation-Manual-Rotary-Evaporator-Laborota-4000-4003.pdf

[32] THREAD COUNT คืออะไร?. สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2563 จาก https://www.phomeinternational.com/information-1/thread-count-%E0%B8%84-%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3

[33] เบอร์ด้าย (yarn count). สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2563 จาก http://www.thaitextileacademy.com/15820487/%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A2-yarn-count-