

ผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในระบบการพิมพ์ต่างๆ



นายพิวัส สุขณียุทธ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF RECYCLED PULP ADDITION ON PAPER PRINTABILITY IN VARIOUS PRINTING
PROCESSES

Mr. Piwats Sukaneeyuth



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology
Department of Imaging and Printing Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของ
กระดาษในระบบการพิมพ์ต่างๆ
โดย นายพิวัส สุขณียุทธ
สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร. กุณฑิณี สุวรรณกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวาล คุรุพิพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. กุณฑิณี สุวรรณกิจ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนานา ประสงค์สุข)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด)

พิวัส สุขณียุทธ : ผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในระบบการพิมพ์ต่างๆ (EFFECT OF RECYCLED PULP ADDITION ON PAPER PRINTABILITY IN VARIOUS PRINTING PROCESSES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. กุณทีนี สุวรรณกิจ, 174 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษ โดยเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อผสมระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ในสัดส่วนต่างกัน 3 ระดับที่ 100:0 50:50 และ 0:100 โดยเยื่อใหม่ได้มาจากเยื่อผสมระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วน 70:30 ซึ่งได้ทดลองขึ้นแผ่นทดสอบและวัดสมบัติต่างๆ พบว่าเป็นสัดส่วนที่ให้ค่าความดำพื้นที่ดีที่สุดในการพิมพ์ทั้ง 4 ระบบ ได้แก่ การพิมพ์ออฟเซต เฟล็กโซกราฟี การพิมพ์พ่นหมึก และการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนเยื่อเวียนทำใหม่ได้จากกระดาษไม่เคลือบผิว 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษที่เป็นเยื่อใหม่ล้วน กับกระดาษที่มีส่วนผสมระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ 70:30 โดยกระดาษแต่ละชนิดถูกนำมาตีกระจายและผสมในสัดส่วนตามที่กำหนด จากนั้นวิเคราะห์สัญญาณวิทยาของเส้นใย และศึกษาผลของชนิดเส้นใยต่อสมบัติของแผ่นทดสอบและสภาพพิมพ์ได้ใน 4 กระบวนการพิมพ์ ผลการวิจัยพบว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากการผสมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่จะส่งผลให้สมบัติด้านต่างๆ ของแผ่นทดสอบลดลง เช่น ความหนาแน่นปรากฏ ความต้านอากาศ ดัชนีความต้านแรงฉีก ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ความมันวาว การดูดซึมน้ำ ความเรียบ และความแข็งแรงของผิวหน้าอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้พบว่าเฉพาะการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเท่านั้นที่การเติมเยื่อเวียนทำใหม่จะส่งผลให้ค่าความดำพื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การพิมพ์อื่นๆ นั้นไม่ได้ปรากฏผลกระทบที่เด่นชัด สำหรับค่าความมันวาว การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์นั้นจะส่งผลให้ค่าความมันวาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกกระบวนการพิมพ์ ส่วนผลความแตกต่างระหว่างชนิดของเยื่อเวียนทำใหม่จะแตกต่างกันตามสภาพการพิมพ์

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5472057423 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEYWORDS: HARDWOOD PULP / SOFTWOOD PULP / RECYCLED PULP / FIBER MORPHOLOGY / PAPER PROPERTIES / PRINTABILITY / PRINTING PROCESSES

PIWATS SUKANEYUTH: EFFECT OF RECYCLED PULP ADDITION ON PAPER PRINTABILITY IN VARIOUS PRINTING PROCESSES. ADVISOR: KUNTINEE SUVARNAKICH, 174 pp.

This research aimed to study the effects of recycled pulp addition on paper printability in various printing process by comparing properties of handsheets produced from mixed virgin and recycled pulps at 3 different ratios; 100:0, 50:50 and 0:100. Virgin pulps were used by mixing hardwood and softwood pulps at 70:30 ratio. Handsheets were produced from mixed virgin pulps and tested. This ratio gave the best density results for 4 printing processes; Offset, Flexography, Inkjet and Electrophotography. Two types of recycled pulps were made from uncoated paper (virgin fiber) and recycled uncoated paper (30% recycled fiber). Each paper was disintegrated and mixed at designated ratios. Fiber morphology was analyzed, along with the effects of fiber properties on paper properties and printability in 4 printing processes. It was found that adding recycled pulp in virgin pulp significantly decreased the handsheet properties such as apparent density, air resistance, tear index, tensile index, gloss, water absorption, smoothness and surface strength. In printability testing, adding recycled pulp significantly decreased print density in flexography printing while other printing processes had unclear effects. Gloss significantly dropped in all printing processes with recycled pulp addition. Different types of recycled pulp affected the results differently depending on printing conditions.

Department: Imaging and Printing Student's Signature

Technology Advisor's Signature

Field of Study: Pulp and Paper

Technology

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กุนทีนิ สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ การดูแลเอาใจใส่ และแนวทางการแก้ปัญหาตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ทนุอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา (เฉพาะค่าเล่าเรียน) ตลอดระยะเวลาการจัดสรรทุน 2 ปี

ขอกราบขอบพระคุณองค์กร หน่วยงาน และทุกๆ ท่าน ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ทางด้านวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นสำหรับใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท เนชั่นเนล สตาร์ช แอนด์ เคมีเคิล (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แบ่งประจุบวก (Cationic starch) บริษัท อีคโซ โนเบล พันท์ (ประเทศไทย) จำกัด ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์สารด้านการเชื่อม (Alkyl Ketene Dimer, AKD) และสารเพิ่มการตกค้าง (Retention aid) ประเภท C-PAM (Cationic Polymers Polyacrylamide) และ บริษัท อินเตอร์อิงค์ จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำชุด 4 สี (INTER-INK SF PROCESS)

ขอขอบพระคุณศูนย์ทดสอบมาตรฐานวัสดุและอุปกรณ์การพิมพ์ และศูนย์การวิจัยพัฒนา (Thai Print Laboratory) สมาคมการพิมพ์ไทย ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณ คุณณิชนันท์ สุวรรณโณ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คุร์พิพัฒน์ ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.อริญ หาญสืบสาย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีหนาท ประสงค์สุข และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด กรรมการสอบ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการและที่ปรึกษา สมาคมการพิมพ์ไทย ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในทุกๆ ด้านเสมอมา จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ข้อยกเว้นของการวิจัย	3
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เส้นใย	5
2.1.1 เส้นใยจากเยื่อใยสั้น.....	5
2.1.2 เส้นใยจากเยื่อใยยาว.....	6
2.1.3 เส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่	7
2.2 สมบัติกระดาษ.....	9
2.2.1 สมบัติทางโครงสร้าง	9

2.2.2 สมบัติเชิงกล.....	10
2.2.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์.....	11
2.2.4 สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน.....	12
2.2.5 สมบัติด้านพื้นผิว.....	13
2.3 กระบวนการพิมพ์.....	13
2.3.1 กระบวนการพิมพ์ออฟเซตลิโธกราฟี.....	13
2.3.2 กระบวนการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี.....	14
2.3.3 กระบวนการพิมพ์พ่นหมึก.....	15
2.3.4 กระบวนการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์.....	16
2.4 การวัดค่าต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์.....	17
2.4.1 ค่าความดำทางการพิมพ์.....	17
2.4.2 การวัดค่าสีซีแอลบี.....	18
2.4.3 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	25
3.1.1 วัสดุพิมพ์และสารเคมี.....	25
3.1.2 วัสดุและเครื่องมือ.....	26
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.2.1 การทดลองตอนที่ 1.....	28
3.2.2 การทดลองตอนที่ 2.....	40
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	42
4.1 ผลการทดลองตอนที่ 1.....	42

4.1.1	สภาพการระบายน้ำของเส้นใย	42
4.1.2	ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใย	43
4.1.3	ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ	45
4.1.4	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์ออฟเซต	50
4.1.5	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี	54
4.1.6	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์พ่นหมึก	60
4.1.7	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	64
4.1.8	เปรียบเทียบลักษณะแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	69
4.2	ผลการทดลองตอนที่ 2	82
4.2.1	ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใย	84
4.2.2	ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ	87
4.2.3	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์ออฟเซต	100
4.2.4	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี	109
4.2.5	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์พ่นหมึก	119
4.2.6	ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	126
4.2.7	ผลการเปรียบเทียบลักษณะแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	134
4.2.8	ผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ ต่างๆ.....	143
4.2.9	การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) ของความสัมพันธ์ในด้านต่างๆ.....	149
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	152
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	152
	การทดลองตอนที่ 1.....	152
	การทดลองตอนที่ 2.....	153

5.2 ข้อเสนอแนะ.....	155
รายการอ้างอิง.....	157
ภาคผนวก.....	165
ก. การคำนวณการเตรียมน้ำเยื่อและปริมาณสารเคมีที่ใช้.....	166
1. การคำนวณปริมาณเยื่อที่ใช้ในการบดเยื่อ.....	166
2. การคำนวณปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการทดสอบหาค่าสภาพระบายได้.....	166
3. การคำนวณปริมาณเยื่อแห้งสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบ (Handsheets).....	167
4. การเตรียมและการคำนวณปริมาณแป้งประจุบวก (Cationic starch).....	168
5. การเตรียมและการคำนวณปริมาณสารด้านการซึม (AKD).....	170
6. การเตรียมและการคำนวณปริมาณ C-PAM.....	171
ข. สมบัติทั้งหมดของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ในการทดลองตอนที่ 1.....	172
ค. สมบัติทั้งหมดของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ในการทดลองตอนที่ 2.....	173
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	174

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1-1	อุตสาหกรรมการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่	2
ภาพที่ 1-2	อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และเขียน	2
ภาพที่ 2-1	เยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว ที่กำลังขยาย 75 เท่า.....	5
ภาพที่ 2-2	การเปรียบเทียบด้านราคาและคุณภาพของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ที่นำไปใช้งานในแต่ละประเภท	8
ภาพที่ 2-3	การเกิดฮอร์นนิฟิเคชัน (Hornification).....	9
ภาพที่ 2-4	การพิมพ์ออฟเซต (Offset Printing).....	14
ภาพที่ 2-5	การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography).....	15
ภาพที่ 2-6	การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (Electrophotography).....	16
ภาพที่ 2-7	ปริภูมิสีซีแอลบี (CIELAB color space).....	18
ภาพที่ 2-8	มุมการวัดค่าความมันวาว	19
ภาพที่ 3-1	สรุปขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
ภาพที่ 3-2	เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT AIC2-5T2000	35
ภาพที่ 3-3	เครื่องกลิ้งหมึก (IGT High Speed Inking Unit 4, HISU4).....	35
ภาพที่ 3-4	เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1.....	37
ภาพที่ 3-5	เครื่องพิมพ์พ่นหมึก (Canon iPF6300 printer)	38
ภาพที่ 3-6	เครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (FUJI XEROX Document Centre C450).....	38
ภาพที่ 4-1	การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ในการทดลองตอนที่ 1... 44	
ภาพที่ 4-2	ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1.....	51
ภาพที่ 4-3	ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1	54
ภาพที่ 4-4	ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1.....	55
ภาพที่ 4-5	ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1.....	59
ภาพที่ 4-6	ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1.....	61
ภาพที่ 4-7	ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1	63
ภาพที่ 4-8	ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 1	65

ภาพที่ 4-9 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โครโฟโตกราฟี ในการทดลองตอนที่ 1.....	68
ภาพที่ 4-10 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1	71
ภาพที่ 4-11 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1	71
ภาพที่ 4-12 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1	73
ภาพที่ 4-13 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1	73
ภาพที่ 4-14 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1	75
ภาพที่ 4-15 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1	75
ภาพที่ 4-16 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โครโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 1.....	78
ภาพที่ 4-17 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โครโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 1.....	78
ภาพที่ 4-18 การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ในการทดลองตอนที่ 2	86
ภาพที่ 4-19 ค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2.....	100
ภาพที่ 4-20 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2	105
ภาพที่ 4-21 ค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2.....	110
ภาพที่ 4-22 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2	115
ภาพที่ 4-23 ค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2	120
ภาพที่ 4-24 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2.....	123
ภาพที่ 4-25 ค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โครโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 2.....	127
ภาพที่ 4-26 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โครโฟโตกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2	130

ภาพที่ 4-27	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2	136
ภาพที่ 4-28	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2	136
ภาพที่ 4-29	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2	138
ภาพที่ 4-30	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2	138
ภาพที่ 4-31	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2	140
ภาพที่ 4-32	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2	140
ภาพที่ 4-33	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิในการทดลองตอนที่ 2	142
ภาพที่ 4-34	ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิในการทดลองตอนที่ 2	142
ภาพที่ 4-35	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	149

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ผลความยาวของเส้นใยต่อสมบัติของกระดาษ.....	6
ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบกระดาษถ่ายเอกสารที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่	7
ตารางที่ 3-1 ลำดับขั้นตอนการผสมสารเติมแต่ง.....	30
ตารางที่ 3-2 สภาพการวัดแบบที่ 1 ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษ.....	33
ตารางที่ 3-3 สภาพการวัดแบบที่ 2 ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษ.....	33
ตารางที่ 3-4 สภาพการพิมพ์ที่กำหนดในการทดสอบพิมพ์กับหมึกพิมพ์ออฟเซต	36
ตารางที่ 3-5 สภาพการวัดค่าความดำพื้นที่ (Solid density).....	39
ตารางที่ 4-1 สภาพการระบายน้ำของเส้นใย	42
ตารางที่ 4-2 สันฐานวิทยาของเส้นใยในการทดลองตอนที่ 1.....	43
ตารางที่ 4-3 สมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1	45
ตารางที่ 4-4 สมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1	47
ตารางที่ 4-5 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1	47
ตารางที่ 4-6 สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทานของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1.....	49
ตารางที่ 4-7 สมบัติด้านพื้นผิวของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1.....	50
ตารางที่ 4-8 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 1	52
ตารางที่ 4-9 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์เพล็ทโทกราฟี ในการทดลองตอนที่ 1	58
ตารางที่ 4-10 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 1.....	62
ตารางที่ 4-11 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ในการทดลองตอนที่ 1.....	66
ตารางที่ 4-12 สภาพการพิมพ์ที่ให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุดในแต่ละกระบวนการพิมพ์.....	69
ตารางที่ 4-13 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดในแต่ละกระบวนการพิมพ์ ในการทดลองตอนที่ 1.....	80
ตารางที่ 4-14 ความถี่รวมของแผ่นทดสอบที่ให้ค่าความดำพื้นที่สูงสุดในการทดลองตอนที่ 1	81
ตารางที่ 4-15 สัญลักษณ์ที่กำหนดในการทดลองตอนที่ 2.....	82

ตารางที่ 4-16 สมบัติของกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่ก่อนการผสม	83
ตารางที่ 4-17 สัมพันธวิทยาของเส้นใยในการทดลองตอนที่ 2	84
ตารางที่ 4-18 สมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2	87
ตารางที่ 4-19 สมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2	89
ตารางที่ 4-20 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2.....	91
ตารางที่ 4-21 ค่าความเปรียบต่างสี (ΔE^*_{ab}).....	93
ตารางที่ 4-22 สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2... 94	
ตารางที่ 4-23 สมบัติด้านพื้นผิวของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2.....	95
ตารางที่ 4-24 การเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2 97	
ตารางที่ 4-25 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 2.....	101
ตารางที่ 4-26 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 2.....	102
ตารางที่ 4-27 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 2.....	103
ตารางที่ 4-28 อันดับของค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 2.....	106
ตารางที่ 4-29 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 2.....	107
ตารางที่ 4-30 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์ออฟเซต ในการทดลองตอนที่ 2.....	108
ตารางที่ 4-31 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2.....	111
ตารางที่ 4-32 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2.....	111
ตารางที่ 4-33 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2.....	113
ตารางที่ 4-34 อันดับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2.....	116

ตารางที่ 4-35 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศา การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2.....	117
ตารางที่ 4-36 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศา การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ในการทดลองตอนที่ 2.....	118
ตารางที่ 4-37 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 2.....	121
ตารางที่ 4-38 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 2.....	122
ตารางที่ 4-39 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 2.....	122
ตารางที่ 4-40 อันดับของค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 2.....	124
ตารางที่ 4-41 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 2.....	125
ตารางที่ 4-42 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์พ่นหมึก ในการทดลองตอนที่ 2.....	125
ตารางที่ 4-43 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ ในการทดลองตอนที่ 2.....	128
ตารางที่ 4-44 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ ในการทดลองตอนที่ 2.....	128
ตารางที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ ในการทดลองตอนที่ 2.....	129
ตารางที่ 4-46 อันดับของค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศา การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ ในการทดลองตอนที่ 2.....	131
ตารางที่ 4-47 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิในการทดลองตอนที่ 2.....	132
ตารางที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิในการทดลองตอนที่ 2.....	132
ตารางที่ 4-49 สรุปความถี่ของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่เมื่อพิมพ์ด้วย สภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดในการทดลองตอนที่ 2.....	145

ตารางที่ 4-50 สรุปความถี่การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บเมื่อพิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์ ที่ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดในการทดลองตอนที่ 2	146
ตารางที่ 4-51 สรุปความถี่ของความแตกต่างของค่าความมันวาวที่มุม 75 องศาเมื่อพิมพ์ด้วย สภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดในการทดลองตอนที่ 2.....	147
ตารางที่ 4-52 สรุปความถี่การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศา เมื่อพิมพ์ด้วย สภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดในการทดลองตอนที่ 2.....	148
ตารางที่ 4-53 สัญลักษณ์ของแต่ละตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบ.....	150
ตารางที่ 5-1 สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ในการทดลองตอนที่ 1	172
ตารางที่ 5-2 สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ในการทดลองตอนที่ 2.....	173



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระดาษเป็นวัสดุการพิมพ์ชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และสามารถนำไปใช้เป็นการพิมพ์ได้ในหลายกระบวนการพิมพ์ โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตนั้น เป็นได้ทั้งเส้นใยจากไม้เนื้อแข็ง (เยื่อใยสั้น) หรือเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน (เยื่อใยยาว) รวมไปถึงเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled fiber) ซึ่งเส้นใยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งในลักษณะรูปร่าง ขนาด โครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมี เมื่อนำเส้นใยที่ต่างชนิดกันไปผลิตเป็นกระดาษ ลักษณะของเส้นใยที่ต่างกันจะส่งผลให้สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงแสงของกระดาษที่ผลิตได้มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเส้นใยกับสมบัติทางการพิมพ์ของกระดาษนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับกระดาษพิมพ์เขียนแต่มีผู้ศึกษาน้อยมาก โดยเฉพาะในส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่มีส่วนใหญ่มุ่งจะศึกษาถึงผลในการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ (Paper recycling) เฉพาะในด้านผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากกว่า ในขณะที่การศึกษาถึงสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ยังมีจำกัดอยู่

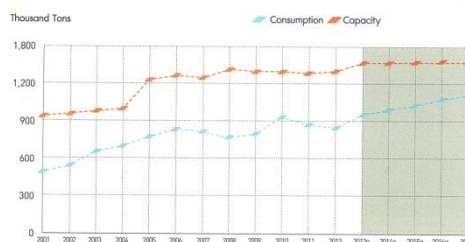
ทั้งนี้จะพบว่าปัจจุบันสัดส่วนของการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น ในยุโรปเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 62 ในปี ค.ศ. 2005 เป็นร้อยละ 71.7 ในปี ค.ศ. 2013 [1] ในอเมริกามีสัดส่วนเป็นร้อยละ 66 ในปี ค.ศ. 2011 ซึ่งคาดการณ์ว่าจะเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 70 ในปี ค.ศ. 2020 [2] สำหรับประเทศไทยจากข้อมูลทางสถิติและการประมาณการของสมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย [3] พบว่ามีอัตราการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ในปี ค.ศ. 2012 ที่ร้อยละ 55 และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับร้อยละ 70 ในปี ค.ศ. 2017 ตามภาพที่ 1-1 นอกจากนี้ปริมาณการบริโภคกระดาษพิมพ์และเขียนก็คาดว่าจะสูงขึ้นเช่นเดียวกันจากปี ค.ศ. 2012 ที่ 0.886 ล้านตัน เป็น 1.075 ล้านตันในปี ค.ศ. 2017 ตามภาพที่ 1-2

ทั้งจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่และการบริโภคกระดาษพิมพ์และเขียน ดังนั้นในการศึกษาถึงนำการเยื่อเวียนทำใหม่มาใช้ในการผลิตกระดาษสำหรับการพิมพ์โดยพิจารณาสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

Recovered Paper Industry



Paper Industry - Printing & Writing Paper



ภาพที่ 1-1 อุตสาหกรรมการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ [3] ภาพที่ 1-2 อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และเขียน [3]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้จากเส้นใย 3 ชนิด คือ เส้นใยจากเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวพอกขาวที่ใช้ในทางการค้า และเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ โดยจะผสมเส้นใยแต่ละชนิดในสัดส่วนต่างๆ กัน เพื่อพิจารณาสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงแสง สมบัติด้านการขวางกัน สมบัติด้านพื้นผิว และสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ที่แตกต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ ออฟเซต เฟล็กโซกราฟี การพิมพ์แบบพ่นหมึก และการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี

ในการศึกษาผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษนั้น จะดำเนินการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน เพื่อพิจารณาผลของเยื่อที่มีลักษณะต่างๆ กัน โดยในตอนแรก 1 จะเป็นการผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อใหม่ (Virgin pulp) 2 ชนิด ได้แก่ เยื่อใยสั้น (Hardwood) และเยื่อใยยาว (Softwood) ที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 100:0 70:30 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ จากนั้นทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของแผ่นทดสอบ และทดสอบสภาพพิมพ์ได้ใน 4 กระบวนการพิมพ์ดังกล่าวข้างต้น จากนั้นพิจารณาสภาพพื้นผิวของแผ่นทดสอบและลักษณะของการปกคลุมของหมึกพิมพ์สีดำในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่ผสมที่ให้ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ดีที่สุดเพื่อนำมาทดลองในตอนต่อไป

สำหรับการทดลองตอนที่ 2 จะผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled pulp) ผสมกับเยื่อใหม่ที่ได้จากการคัดเลือกตามอัตราส่วนผสมในการทดลองตอนที่ 1 ซึ่งจะมีอัตราส่วนผสม

ที่แตกต่างกัน 3 ระดับระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ ได้แก่ 100:0 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ ทั้งนี้จะใช้เยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด ซึ่งได้มาจากกระดาษที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมด และกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ผสมกันในอัตราส่วน 70:30 (ดังนั้นจึงมีตัวอย่างเยื่อรวมทั้งหมด 5 ชนิด) นำแผ่นทดสอบ มาทดสอบสมบัติต่างๆ และสภาพพิมพ์ได้ใน 4 กระบวนการพิมพ์ เช่นเดียวกับการทดลองในตอนต้น จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1) เนื่องจากแผ่นทดสอบที่ผลิตได้มีขนาดเล็ก เมื่อนำกระดาษที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติของ กระดาษหรือทดสอบในกระบวนการพิมพ์บางแบบจำเป็นต้องใช้วิธีการต่อกระดาษด้วยเทปเพื่อให้ กระดาษมีขนาดที่สามารถทดสอบได้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่รบกวนต่อผลการทดสอบที่ได้ด้วยเช่นกัน

2) เนื่องจากแผ่นทดสอบที่ผลิตได้มีขนาดเล็ก จึงไม่สามารถนำไปใช้ทดสอบพิมพ์กับแท่น พิมพ์จริงได้ ดังนั้นจำเป็นต้องทดสอบกับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลที่ได้ ในการทดสอบวิเคราะห์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่สามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงหรือเทียบเคียงกับผลการ ทดสอบที่ได้มาจากการทดสอบกับแท่นพิมพ์จริงโดยตรงแต่อาจสามารถบอกแนวโน้มได้

3) การทดสอบสมบัติกระดาษภายใต้สภาวะตามมาตรฐาน ISO 187:1990 ไม่สามารถทำ ได้เนื่องจากไม่มีห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามมาตรฐานดังกล่าว แต่ในการทำ การทดสอบตัวอย่างจะดำเนินการภายใต้สภาวะเดียวกัน (อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ห้อง) ในช่วง เวลาเดียวกันของการทดสอบใดทดสอบหนึ่ง

4) เยื่อเวียนทำใหม่ที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้มีอยู่ 2 ชนิด ซึ่งมาจากกระดาษที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมด และกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจาก เยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ผสมกันในอัตราส่วน 70:30 กระดาษทั้งสองชนิดจะมีการเติมสารเติมแต่ง ต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันรวมถึงสภาพในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลให้สมบัติของ กระดาษมีความแตกต่างกัน ด้วยสาเหตุนี้การนำกระดาษทั้งสองชนิดมาใช้จึงอาจส่งผลต่อสมบัติของ เยื่อและแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ รวมถึงการตกค้างของสารเติมแต่งที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในน้ำเยื่อและ แผ่นทดสอบหลังจากที่นำกระดาษมาทำเป็นเยื่อเวียนทำใหม่

5) หมึกพิมพ์ที่นำมาใช้เป็นหมึกพิมพ์ที่ใช้ในทางการค้า ดังนั้นจึงไม่ทราบข้อมูลในส่วน ของ รายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะที่แตกต่างกันของหมึกพิมพ์ เนื่องจากเป็น ความลับทางการค้า จึงไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างดังกล่าวนี้โดยละเอียดได้

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

สภาพพิมพ์ได้ สำหรับในงานวิจัยนี้คือ ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของวัสดุที่ใช้พิมพ์ (Substrate)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาวิธีการทดลอง เตรียมสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลอง
- 3) วางแผนงานและทำการทดลองตามขั้นตอน
- 4) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 5) เรียบเรียงเนื้อหาและเขียนวิทยานิพนธ์

1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

ในการเสนอผลการวิจัยจะนำเสนอตามลำดับขั้นตอนของการทดลองดังนี้

- 1) ผลจากอัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อใหม่ 2 ชนิด ต่อสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้
- 2) ผลการพิมพ์กระดาษที่ผลิตได้ในกระบวนการพิมพ์ 4 แบบ
- 3) การเปรียบเทียบและคัดเลือกอัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อใหม่ 2 ชนิด
- 4) ผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด กับเยื่อใหม่ตามสูตรที่คัดเลือก ต่อสมบัติของกระดาษและผลการพิมพ์บนกระดาษที่ผลิตได้

บทที่ 2

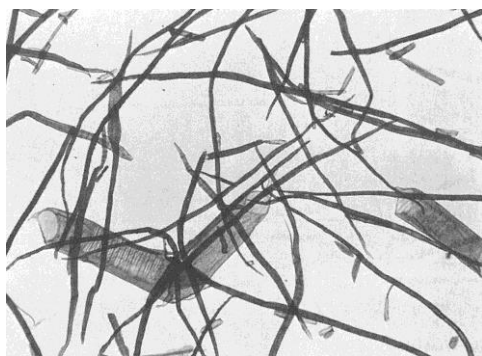
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่สำคัญและเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเรื่องของเส้นใย สมบัติกระดาษ กระบวนการพิมพ์ และการวัดค่าต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เส้นใย

เส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เส้นใยจากเยื่อบริสุทธิ์ (Virgin pulp) และเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled pulp) โดยในส่วนของเส้นใยจากเยื่อบริสุทธิ์นั้นแบ่งชนิดของเส้นใยออกได้ตามความยาวของเส้นใยเป็นเส้นใยจากเยื่อใยสั้น (short fiber) และเส้นใยจากเยื่อใยยาว (long fiber) ซึ่งเส้นใยแต่ละชนิดจะมีลักษณะและสมบัติที่ได้แตกต่างกันไป

2.1.1 เส้นใยจากเยื่อใยสั้น เป็นเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood, evolved plant) เป็นไม้พืชดอก (Angiosperm) เช่น ยูคาลิปตัส เบิร์ช เป็นต้น ประกอบไปด้วยเส้นใย (fibers) ร้อยละ 65 เวสเซล (vessels) ร้อยละ 25 และพาเรโนโคมา (parenchyma) ร้อยละ 10 เส้นใยจากไม้เนื้อแข็งจะมีขนาดสั้นและมีผนังหนา ขนาดความยาวของเส้นใยประมาณ 0.8 – 1.5 มิลลิเมตร ความหยาบของเส้นใย (coarseness) 9 – 15 มิลลิกรัมต่อ 100 เมตร [4-6] ลักษณะตามภาพที่ 2-1 (ก)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2-1 เยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว ที่กำลังขยาย 75 เท่า [6] (ก) เยื่อใยสั้นจากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood fibers, beech) (ข) เยื่อใยสั้นจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood fibers, jack pine)

2.1.2 เส้นใยจากเยื่อไผ่ยาว เป็นเส้นใยที่ได้จากไม้ยืนต้นหรือไม้เนื้ออ่อน (Softwood, primitive plant) ซึ่งเป็นไม้ที่ได้จากพืชจำพวกสน (Coniferous) เช่น สนสองใบ สนสามใบ เป็นต้น ประกอบด้วยเส้นใย (Tracheids) ร้อยละ 90 และพาราเนไคมาเซลล์ (parenchyma cells) ร้อยละ 10 ความยาวของเส้นใยประมาณ 2.5 – 4 มิลลิเมตร ความหยาบของเส้นใย (coarseness) 16 – 35 มิลลิกรัมต่อ 100 เมตร [4-6] ลักษณะตามภาพที่ 2-1 (ข)

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบความแตกต่างของความยาวของเส้นใยและสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลของกระดาษดีขึ้น ในขณะที่สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์นั้นลดลง แต่ในทางกลับกันเมื่อความยาวของเส้นใยลดลงจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของกระดาษลดลง ในขณะที่สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์นั้นดีขึ้น [6] ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษพิมพ์และเขียนจะใช้ทั้งเยื่อไผ่สั้นและเยื่อไผ่ยาวผสมกันตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ทั้งสมบัติเชิงกลและสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ตามที่ต้องการ

ตารางที่ 2-1 ผลความยาวของเส้นใยต่อสมบัติของกระดาษ

สมบัติ	ผลต่อสมบัติของกระดาษเมื่อความยาวเส้นใย	
	เพิ่มขึ้น	ลดลง
1) ระดับความเท่ากันของพื้นผิว (Surface levelness)	ลดลง	เพิ่มขึ้น
2) ความเรียบของพื้นผิว (Surface smoothness)	ลดลง	เพิ่มขึ้น
3) ความสม่ำเสมอของเส้นใยในกระดาษ (Formation)	ไม่สม่ำเสมอมากขึ้น	ไม่สม่ำเสมอลดลง
4) คุณภาพการพิมพ์ (Print quality)	แย่ลง	ดีขึ้น
5) ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)	เพิ่มขึ้น	ลดลง
6) ความต้านทานการฉีกขาด (Tearing resistance)	เพิ่มขึ้น	ลดลง
7) ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength)	เพิ่มขึ้น	ลดลง
8) ความทนทานต่อการพับ (Folding endurance)	เพิ่มขึ้น	ลดลง

ดัดแปลงจาก Bureau, H.E. [6]

จากงาน Perng และคณะ [7] พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของเยื่อไผ่สั้นที่ผสมกับเยื่อไผ่ยาวส่งผลให้ค่าสภาพการระบายน้ำลดลง ความยาวเส้นใยลดลง ในขณะที่ปริมาณเส้นใยในระบบสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นทดสอบจะพบว่าความสัมพันธ์ของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากเยื่อไผ่สั้นนั้นมีความฟาม (Bulk) และความทึบแสง (Opacity) สูงกว่าเยื่อไผ่ยาว ในขณะที่เยื่อไผ่ยาวสามารถดูดซึมน้ำและยอมให้อากาศไหลผ่าน (Air permeability) ได้ดีกว่า

2.1.3 เส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ เป็นเส้นใยที่เคยผ่านการผลิตเป็นกระดาษมาก่อนถูกนำมาผลิตเป็นเยื่ออีกครั้ง แหล่งของเยื่อเวียนทำใหม่นั้นแบ่งได้เป็น 3 ประเภท [8] ได้แก่

- 1) วัสดุก่อนการบริโภค (Pre-consumer material) ได้มาจากกระบวนการผลิตสินค้าจากกระดาษโดยไม่ได้อยู่ในส่วนของเส้นทางการกำจัดขยะ เช่น เศษกระดาษจากโรงผลิตของและบรรจุภัณฑ์กระดาษ โรงพิมพ์ โรงผลิตกล่องกระดาษ
- 2) วัสดุภายหลังการบริโภค (Post-consumer material) ได้มาจากการที่ผู้บริโภคใช้สินค้านั้นแล้วทิ้ง ซึ่งอาจมาจากครัวเรือน โรงงาน บริษัท รวมถึงวัสดุที่คืนมาจากศูนย์กระจายสินค้าต่างๆ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษถ่ายเอกสาร นิตยสาร บรรจุภัณฑ์กระดาษ
- 3) เศษกระดาษจากโรงงานกระดาษ (Mill broke) เป็นขยะกระดาษที่เกิดขึ้นภายในโรงงานที่ผลิตกระดาษนั้น

โดยทั่วไปเยื่อกระดาษจะสามารถนำมาผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ได้ไม่เกิน 5-6 ครั้ง เพราะทุกครั้งที่นำมาผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่จะสร้างความเสียหายให้กับเยื่อเนื่องจากเส้นใยถูกตัดให้สั้นลงและการเสื่อมสภาพของเส้นใย จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงจนไม่เพียงพอต่อความสามารถในการนำมาผลิตเป็นแผ่นกระดาษ สำหรับสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ในกระดาษจะขึ้นกับความเหมาะสมในการใช้งานของกระดาษ การใช้เยื่อเวียนทำใหม่จะช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมลดการตัดไม้เพื่อนำมาผลิตเยื่อ ลดการใช้พลังงาน ลดการปล่อยของเสีย มากกว่าการใช้เยื่อใหม่ ตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างการใช้กระดาษถ่ายเอกสารจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled copy paper) กับกระดาษถ่ายเอกสารจากเยื่อใหม่ (Virgin copy paper) จะให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ตามตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบกระดาษถ่ายเอกสารที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่

รายการ	เยื่อใหม่ จำนวน 1 ตัน	เยื่อเวียนทำใหม่ร้อยละ 100 จำนวน 1 ตัน	การช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมจากการใช้เยื่อเวียนทำใหม่ (ร้อยละ)
1. การใช้ต้นไม้	24 ตัน	0 ตัน	100
2. การใช้พลังงาน	33 ล้านบีทียู	22 ล้านบีทียู	33
3. การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases Released – CO ₂ equivalent)	5,601 ปอนด์	3,533 ปอนด์	37
4. น้ำเสีย (Waste water)	22,853 แกลลอน	11,635 แกลลอน	49
5. ขยะของแข็ง (Solid waste)	1,922 ปอนด์	1,171 ปอนด์	39

ดัดแปลงจาก Kinsella, S. [9]

อย่างไรก็ตามการใช้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่นั้นอาจพบปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้งานกับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีด้วยเครื่องถ่ายเอกสาร [10]

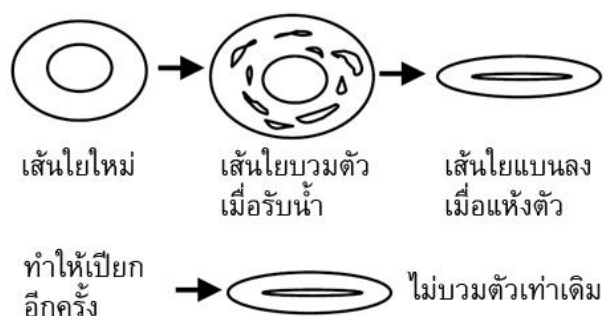
- 1) กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่จะเกิดการติดขัดระหว่างการพิมพ์มากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใหม่
- 2) กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ซึ่งผ่านการใช้งานแล้วร้อยละ 100 จะมีฝุ่นมากและทำให้ลูกกลิ้งสึกหรอเร็ว
- 3) กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่บางชนิดอาจมีกาวเหนียวติดอยู่ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการพิมพ์
- 4) ปัญหาในการใช้งานส่วนใหญ่มักเกิดกับกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ร้อยละ 100 มากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ร้อยละ 30
- 5) กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ในแต่ละผู้ผลิตมีคุณภาพแตกต่างกัน

กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่นั้นส่วนใหญ่จะเป็นการผสมระหว่างเยื่อใหม่ เศษกระดาษจากโรงงานกระดาษ (Broke) ขยะกระดาษที่ผ่านการใช้งาน ซึ่งวัตถุดิบที่ความแตกต่างเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิตได้ ดังนั้นกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่จะมีความแตกต่างกันทั้งในสมบัติด้านทัศนศาสตร์ เช่น ความขาว ความขาวสว่าง ความทึบแสง และสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง รวมถึงสมบัติอื่นๆ ที่แตกต่างกัน แม้จะเป็นกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่เหมือนกันแต่ก็มีความแตกต่างตามชนิดของกระดาษและวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่ต่างกัน ส่งผลให้ราคาราคานั้นแตกต่างกันด้วย ตามภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 การเปรียบเทียบด้านราคาและคุณภาพของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่
ที่นำไปใช้งานในแต่ละประเภท (ดัดแปลงจาก Xerox [11])

ความสามารถในการบวมตัวของเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อเทียบกับเยื่อบริสุทธิ์หรือที่เรียกว่าการเกิดฮอร์นนิฟิเคชัน (Hornification) ตามภาพที่ 2-3 ทำให้ความแข็งแรงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่นั้นลดลงเพราะเส้นใยนั้นไม่สามารถแนบชิดหรือพัวตัวได้ดี อีกทั้งการนำกระดาษที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่จะผ่านกระบวนการตีกระจายเยื่อ (pulping) และ/หรือกระบวนการดึงหมึกออก (deinking) ทำให้เส้นใยถูกตัดให้สั้นลง ความแข็งแรงของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่จึงลดลง [12]



ภาพที่ 2-3 การเกิดฮอร์นนิฟิเคชัน (Hornification) (ดัดแปลงจาก Venditti, R.A. [13])

นอกจากนี้การผลิตกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่ยังทำให้เกิดเส้นใยขนาดเล็กขึ้นในระบบ เนื่องจากการนำกระดาษมาตีกระจายใหม่อีกครั้งหนึ่งจะทำให้เกิดการตัดเส้นใยและเกิดเส้นใยขนาดเล็กขึ้น เรียกว่า เส้นใยขนาดเล็กทุติยภูมิ (Secondary fine) แต่ถ้าเป็นเส้นใยที่ไม่เกิดจากการตีกระจายหรือบดเยื่อจะเรียกว่า เส้นใยขนาดเล็กปฐมภูมิ (Primary fine) ซึ่งเป็นส่วนของพาราเรโนไมมาเซลล์ (Parenchyma cells) เวสเซล (Vessels) หรือผนังเซลล์ (Cell wall) [12]

2.2 สมบัติกระดาษ

สมบัติของกระดาษสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ด้าน ได้แก่ สมบัติทางโครงสร้างสมบัติเชิงกล สมบัติด้านทัศนศาสตร์ สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน และสมบัติด้านพื้นผิว [15] โดยสมบัติของกระดาษในแต่ละด้านนั้นจะมีรายละเอียดต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

2.2.1 สมบัติทางโครงสร้าง เป็นสมบัติที่แสดงถึงการจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเนื้อกระดาษโดยเฉพาะเส้นใย และสารเติมแต่งที่แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยหรือเคลือบที่ผิวของเส้นใยอยู่ สมบัติทางโครงสร้างที่สำคัญได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาความหนาแน่นปรากฏ และความต้านอากาศ

2.2.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) คือ น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในสถานะที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามมาตรฐานที่กำหนด (เช่น มาตรฐาน ISO สถานะควบคุมที่อุณหภูมิ $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2 หรือในเขตร้อนสามารถใช้สถานะควบคุมที่ $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 536:1995 [16] โดยทั่วไปมีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร

2.2.1.2 ความหนา (Thickness, Caliper) คือ ระยะห่างในแนวตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้ง 2 ด้านของแผ่นกระดาษภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด รายงานผลในหน่วยไมโครเมตร (ตามระบบ SI) มิลลิเมตรหรือนิ้ว ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 534 : 1988 [17] ความหนาของกระดาษขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐาน การกดรีด และการขีดผิวหน้ากระดาษระหว่างการผลิต ซึ่งหากมีการกดรีดหรือการขีดผิวหน้าของกระดาษในระดับสูงจะส่งผลให้ความหนาของกระดาษลดลง แต่ความเรียบและความมันวาวของกระดาษจะเพิ่มขึ้น

2.2.1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (density) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักมาตรฐานโดยมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 534 : 1988 [17] ความหนาแน่นปรากฏของกระดาษมีความสัมพันธ์กับสมบัติกระดาษในด้านอื่นๆ เช่น ความต้านอากาศ ความทึบแสง ความต้านแรงดึง ความสามารถในการดูดซึมของเหลว และสภาพการพิมพ์ได้ของกระดาษ นอกจากนี้กระดาษที่มีความชื้นมาก เส้นใยจะบวมตัวมากกว่ากระดาษที่มีความชื้นน้อย ซึ่งการเส้นใยที่บวมตัวจะทำให้กระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้น

2.2.1.4 ความต้านอากาศ (Air resistance) คือ ความต้านทานการไหลผ่านของอากาศเนื่องภายในแผ่นกระดาษจะมีลักษณะของรูพรุนเล็กๆ โดยทั่วไปแล้วกระดาษจะมีอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ทดสอบได้จากการนับระยะเวลาที่อากาศไหลผ่านเมื่อกำหนดปริมาตรคงที่ตามมาตรฐาน ISO 5636-5:2003 [18]

2.2.2 สมบัติเชิงกล เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกระดาษซึ่งสัมพันธ์กับการนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ของกระดาษที่ผลิตแต่ละชนิด สมบัติเชิงกลที่สำคัญ 2 ด้าน ได้แก่ ความต้านทานแรงฉีก และความแข็งแรงต่อแรงดึง

2.2.2.1 ความต้านทานแรงฉีก (Tear resistance) คือ ความสามารถในการทนต่อแรงฉีกของกระดาษที่ได้มีการบากนำร่องไว้ก่อนทดสอบแล้ว มีหน่วยเป็นมิลลินิวตัน (mN) ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงเส้นใยเดี่ยวๆ จากการต้านทานการฉีกขาดของแผ่นกระดาษได้ นอกจากนี้อาจเทียบกับ

น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษเพื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานต่างกันได้ เรียกว่า ดัชนีความต้านทานแรงฉีก (Tear index) มีหน่วยเป็น มิลลินิวตันเมตรกำลังสองต่อกรัม (mNm^2/g) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 1974:1990 [19]

2.2.2.2 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) คือ ความสามารถในการทนต่อแรงดึงของกระดาษเมื่อถูกจับที่ปลายทั้ง 2 ข้าง ก่อนที่จะฉีกขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของกระดาษและความสามารถในการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยของกระดาษได้ นอกจากนี้อาจเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานที่แตกต่างกันได้ เรียกว่า ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตรต่อกรัม (Nm/g) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 1924-2:1994 [20] ด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่

2.2.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของกระดาษที่ปรากฏสู่สายตา ซึ่งสัมพันธ์กับการนำไปใช้งานโดยเฉพาะด้านการพิมพ์ ตัวอย่างที่สำคัญของสมบัติด้านทัศนศาสตร์ ได้แก่ ความขาว ความขาวสว่าง ความทึบแสงค่าสี และความมันวาว

2.2.3.1 ดัชนีความขาว (CIE Whiteness index) คือ ดัชนีค่าการสะท้อนแสงของกระดาษในช่วงคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ (Visible light) ซึ่งจะแตกต่างจากความขาวสว่าง (Brightness) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 11475:1999 [21] หรือ ISO 11476:2000 [22]

2.2.3.2 ความขาวสว่าง (Brightness) คือ ค่าอัตราส่วนร้อยละของการสะท้อนแสงของกระดาษที่มีความหนาพอที่แสงจะไม่ทะลุผ่านต่อค่าการสะท้อนแสงได้สมบูรณ์ โดยวัดการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ตามวิธีมาตรฐาน ISO 2470:1999 [23]

2.2.3.3 ความทึบแสง (Opacity) คือ อัตราส่วนร้อยละของค่าสะท้อนแสงของกระดาษ 1 แผ่น ซึ่งรองรับด้วยพื้นดำ ต่อค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ซ้อนกันมากพอในระดับที่แสงไม่สามารถส่องผ่านได้ โดยใช้วัดการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 557 นาโนเมตร ซึ่งหากค่าความทึบแสงที่วัดได้มีค่าสูงแสดงว่ากระดาษมีความทึบแสงสูง ไม่ยอมให้แสงทะลุส่องผ่านได้มากนัก ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 2471:1998 [24]

2.2.3.4 ค่าสี (CIELAB value) คือ ค่าสีที่วัดตามระบบสีซีไอเออี โดยมีปริภูมิสี (CIELAB color space) แบบ 3 มิติ ประกอบด้วย 3 แกน ได้แก่ แกน L^* แกน a^* และแกน b^* ซึ่งค่า L^* นั้นบ่งบอกถึงความมืดหรือสว่างของสี หากยังมีค่าสูงแสดงว่ายังมีความสว่างมาก ค่า a^* ใช้แสดงความ

เป็นสีแดงและความเป็นสีเขียวของสี โดยค่าที่เป็นบวก (+) ใช้แสดงความเป็นสีแดง ส่วนค่าที่เป็นลบ (-) ใช้แสดงความเป็นสีเขียว ค่า b^* ใช้แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสี ค่าที่เป็นบวก (+) ใช้แสดงความเป็นสีเหลือง ส่วนค่าที่เป็นลบ (-) ใช้แสดงความเป็นสีน้ำเงิน ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 5631-1:2009 [25] หรือ ISO 5631-2:2014 [26] หรือ ISO 5631-3:2014 [27]

2.2.3.5 ความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°) คือ ค่าความสามารถในการสะท้อนที่พื้นผิวของกระดาษเมื่อวัดค่าด้วยแสงที่ทำมุมตกกระทบ 75 องศา กับเส้นตั้งฉากบนผิวของกระดาษ และวัดค่าการสะท้อนแสงอีกด้านหนึ่งที่มีมุมเดียวกัน ทดสอบตามวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 8254-1:1999 [28]

2.2.4 สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทาน เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้งานด้านการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ของกระดาษ ปกติสมบัติด้านการขวางกันและความต้านทานของเหลวสามารถวัดได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 2 วิธี ได้แก่ การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที และการพิมพ์ซึมผ่าน เนื่องจากเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของกระดาษ

2.2.4.1 การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที (Cobb 60) เป็นการทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษที่เวลา 60 วินาที (เวลาในการสัมผัสน้ำ 45 วินาที และเวลาในการปล่อยน้ำส่วนเกินออก 15 วินาที) โดยวัดค่าความแตกต่างของน้ำหนักกระดาษก่อนและหลังการทดสอบโดยให้สัมผัสกับน้ำบนพื้นที่ขนาด 100 ตารางเซนติเมตร มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร (g/m^2) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 535:1991 [29] กระดาษที่ต้องการทดสอบสมบัตินี้ ได้แก่ กระดาษสำหรับการพิมพ์ออฟเซตเนื่องจากการพิมพ์ออฟเซตเป็นการพิมพ์ที่มีการใช้น้ำในกระบวนการพิมพ์ รวมถึงการพิมพ์ที่มีการใช้หมึกพิมพ์ประเภทฐานน้ำ เช่น หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี หรือหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึก

2.2.4.2 การพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration) เป็นการทดสอบที่สัมพันธ์กับการพิมพ์โดยตรง เนื่องจากเป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซึมหมึกทดสอบของกระดาษเมื่อนำไปพิมพ์ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IGT Information Leaflet W24 [30] โดยปล่อยหมึกทดสอบ 1 หยดลงบนกระดาษแล้วนำไปพิมพ์ด้วยเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ ซึ่งหากกระดาษนั้นมีความสามารถในการดูดซึมหมึกที่ดีจะทำให้หมึกถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วและเมื่อนำไปพิมพ์ด้วยลูกกลิ้งอะลูมิเนียมจะเกิดรอยเปื้อนเป็นระยะทางสั้นๆ ซึ่งค่าระยะทางของรอยเปื้อนที่วัดได้นั้นจะถูกนำไปคำนวณเป็นค่าการพิมพ์ซึมผ่านในหน่วยต่อเมตร (m^{-1})

2.2.5 สมบัติด้านพื้นผิว เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการรับหมึกพิมพ์ของกระดาษหรือสภาพพิมพ์ได้โดยเฉพาะ เช่น ความเรียบ และความแข็งแรงของผิวหน้า

2.2.5.1 ความเรียบ (Bekk Smoothness) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างชั้นหมึกพิมพ์บนกระดาษ หากกระดาษมีความเรียบมากจะให้ผลการพิมพ์ที่ดี แต่ถ้าหากกระดาษมีความเรียบมากเกินไปก็อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยึดเกาะหมึกพิมพ์เช่นกัน เช่น การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์แบบโตนเนอร์บนกระดาษอาร์ตมัน จะทำให้หมึกพิมพ์ไม่สามารถเกาะบนกระดาษและสามารถหลุดลอกออกได้ ในการวัดค่าความเรียบนั้นสามารถวัดได้หลายวิธีเช่นอาจใช้วิธีของเบคค์ (Bekk Smoothness) ในการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 5627:1995 [31] ซึ่งจะเป็นการวัดค่าความเรียบโดยการจับเวลาที่ใช้ในการให้ปริมาตรอากาศคงที่ไหลผ่านผิวหน้าของกระดาษ หากผิวหน้าของกระดาษมีความเรียบสูงเวลาที่ใช้จะยิ่งมาก

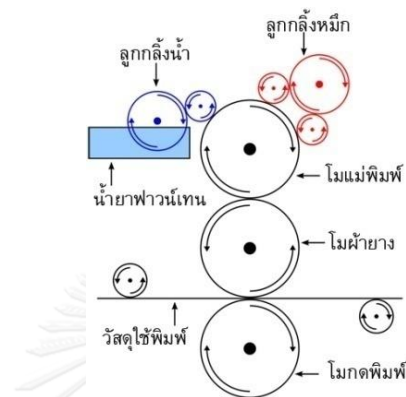
2.2.5.2 ความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength) เป็นสมบัติสำคัญเมื่อกระดาษนั้นถูกนำไปพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่เหนียว เช่น หมึกพิมพ์ออฟเซต หากกระดาษมีความแข็งแรงของผิวน้ำน้อยก็อาจทำให้เกิดการหลุดลอกออกของผิวหน้าได้ หรือที่เรียกว่าการถอนผิว (Picking) ในการทดสอบอาจใช้วิธีทดสอบหรืออาจทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (Printability tester) ตามวิธีมาตรฐาน ISO 3783:2006 [32]

2.3 กระบวนการพิมพ์

กระบวนการพิมพ์ต่างๆ จะมีความแตกต่างกันทั้งในด้านหลักการพิมพ์ ลักษณะของแม่พิมพ์ ชนิดของหมึกพิมพ์ ประเภทของวัสดุใช้พิมพ์ รวมถึงความเหมาะสมในด้านต้นทุนและจำนวนงานพิมพ์ที่ต้องการ ซึ่งปัจจุบันมีกระบวนการพิมพ์ที่หลากหลายให้เลือกใช้ โดยในที่นี่จะกล่าวถึง 4 กระบวนการพิมพ์ที่สำคัญ ดังนี้

2.3.1 กระบวนการพิมพ์ออฟเซตลิโธกราฟี (Offset Lithography) หรือเรียกสั้นๆ ว่า การพิมพ์ออฟเซต (Offset printing) เป็นกระบวนการพิมพ์ที่ใช้แม่พิมพ์แบบพื้นราบ โดยแยกบริเวณพื้นที่รับหมึกพิมพ์ออกจากบริเวณที่ไม่รับหมึกพิมพ์ด้วยน้ำหรือน้ำยาฟาวน์เทน (Fountain solution) โดยอาศัยหลักการที่หมึกพิมพ์ (น้ำมัน) และน้ำยาฟาวน์เทน (น้ำ) ไม่ผสมกัน การพิมพ์ออฟเซตจะใช้หมึกพิมพ์ข้นเหนียว (Paste ink) ซึ่งอาจเป็นฐานน้ำมัน ฐานน้ำมันพืช หรือฐานตัวทำละลายก็ได้ โดยส่วนใหญ่การพิมพ์ออฟเซตมักใช้สำหรับการพิมพ์สิ่งพิมพ์ทั่วไป เช่น หนังสือ นิตยสาร หรือใช้พิมพ์บรรจุภัณฑ์ เช่น กล่องกระดาษ

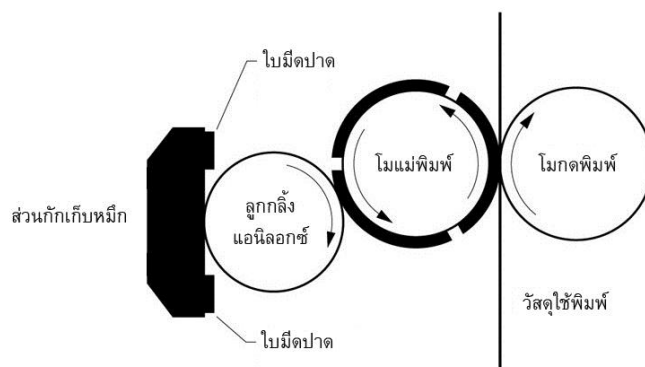
ในระหว่างการพิมพ์นั้นแม่พิมพ์ที่ติดตั้งอยู่บนโมแม่พิมพ์ (Plate cylinder) ไปรับน้ำยาฟาว์นเทนก่อนจึงทำให้บริเวณที่ไม่มีภาพถูกปกคลุมด้วยน้ำ ในขณะที่บริเวณภาพนั้นจะไม่มีน้ำปกคลุมอยู่จึงทำให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้ จากนั้นหมึกพิมพ์ที่อยู่บนแม่พิมพ์จะถูกถ่ายทอดต่อไปยังลูกกลิ้งผ้าฝ้าย (Blanket cylinder) ก่อนถูกถ่ายโอนไปยังวัสดุใช้พิมพ์โดยใช้แรงกดพิมพ์จากโมกดพิมพ์ (Impression cylinder) ตามภาพที่ 2-4 [33]



ภาพที่ 2-4 การพิมพ์ออฟเซต (Offset Printing) (ดัดแปลงจาก Conquestgraphics [34])

2.3.2 กระบวนการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography) เป็นกระบวนการพิมพ์ที่ใช้แม่พิมพ์แบบพื้นนูนซึ่งเป็นบริเวณภาพที่รับหมึกพิมพ์ โดยใช้หมึกพิมพ์แบบเหลว (Liquid ink) ซึ่งอาจเป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำหรือฐานตัวทำละลายก็ได้ โดยแม่พิมพ์จะรับหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ (Anilox roll) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายโอนหมึกพิมพ์จากรางหมึก (Ink duct) หรือส่วนกักเก็บหมึก (Ink chamber) ไปยังโมแม่พิมพ์ (Plate cylinder) จากนั้นหมึกพิมพ์จะถูกถ่ายโอนจากแม่พิมพ์ไปยังวัสดุใช้พิมพ์ (Substrate) โดยมีการใช้แรงกดจากโมกดพิมพ์ (Impression cylinder) ตามภาพที่ 2-5 แต่แรงกดดังกล่าวจะค่อนข้างน้อย (kiss impression)

ลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ซึ่งมีบ่อหมึกอยู่ด้านบนจะมีความละเอียดของบ่อหมึกที่ระดับต่างๆ ตามลักษณะของงานพิมพ์ความละเอียดของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์จะเรียกว่า จำนวนเซลล์ (Cell count) โดยมีความละเอียดตามจำนวนเซลล์ต่อความยาว เช่น 80 เส้น/ซม. (l/cm) ดังนั้นหากมีจำนวนเซลล์หรือจำนวนของบ่อหมึกมากจะทำให้ปริมาณหมึกพิมพ์ที่อยู่ในเซลล์มีปริมาณลดลง ซึ่งความละเอียดดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานพิมพ์ โดยงานพิมพ์ที่เป็นพื้นที่ (Solid) จะต้องการความละเอียดต่ำเพราะต้องใช้ปริมาณหมึกมาก ในขณะที่งานพิมพ์สอดสี (Process printing) จะต้องการความละเอียดที่สูง แต่อย่างไรก็ตามนอกจากความละเอียดของแอนิล็อกซ์แล้วปริมาณของหมึกพิมพ์ยังขึ้นกับรูปร่างและองศาการจัดวางตัวของบ่อหมึก [35]



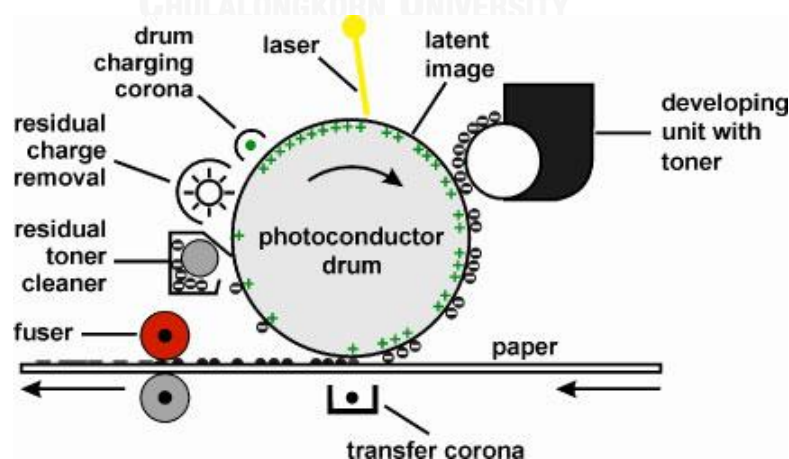
ภาพที่ 2-5 การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography) (ดัดแปลงจาก PNEAC [36])

2.3.3 กระบวนการพิมพ์พ่นหมึก (Inkjet Printing) เป็นกระบวนการพิมพ์ที่ปล่อยหยดหมึกบนวัสดุพิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การพิมพ์พ่นหมึกแบบต่อเนื่อง (Continuous inkjet printing) เป็นการปล่อยหยดหมึกอย่างต่อเนื่องโดยใช้ประจุไฟฟ้าเบี่ยงเบนทิศทางของหยดหมึกเพื่อสัมผัสกับวัสดุพิมพ์ โดยมีลักษณะเป็นจุดของหยดหมึกเรียงกัน ส่วนใหญ่มักใช้กับการพิมพ์ข้อมูลภายในสายการผลิตสินค้าที่ต้องการความเร็วแต่ไม่สามารถพิมพ์ภาพที่มีความละเอียดสูงได้ ส่วนการพิมพ์พ่นหมึกแบบหยดหมึกตามต้องการ (Drop-on-demand inkjet printing) สามารถพิมพ์ภาพที่มีความละเอียดสูงได้รวมถึงภาพสี นิยมใช้เป็นเครื่องพิมพ์ตามบ้านหรือสำนักงาน โดยจะมี 2 เทคโนโลยีที่สำคัญตามลักษณะของหัวพิมพ์ ได้แก่ เพียโซ (Piezo) ใช้การสั่นสะเทือนของวัสดุเพียโซในการขับเคลื่อนหยดหมึก และเทอร์มัลหรือบับเบิลเจ็ท (Thermal, Bubble jet) ใช้ความร้อนเพื่อขับเคลื่อนหยดหมึกออกมา ทั้ง 2 แบบ จะสามารถควบคุมขนาดและการปล่อยหยดหมึกได้เป็นอย่างดี

หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์พ่นหมึกนั้นสารให้สีของหมึกพิมพ์จะทั้งแบบสีย้อมและผงสี และหมึกพิมพ์จะมีทั้งแบบฐานน้ำ ฐานตัวทำละลาย ฐานแว็กซ์ ซึ่งความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของตัวพาและเทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องพิมพ์พ่นหมึกแต่ละชนิด แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ทั่วไปตามบ้านหรือสำนักงานนั้นมักเป็นแบบฐานน้ำหรือฐานตัวทำละลาย ซึ่งสามารถซึมลงบนกระดาษได้ดี จึงทำให้เกิดปัญหาการซึมและแตกออกเป็นลาย (Feathering or ink holdout) ซึ่งตามปกติแล้วการพิมพ์พ่นหมึกเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีนั้นจะต้องพิมพ์ลงบนกระดาษเคลือบผิวเฉพาะกับการพิมพ์พ่นหมึก เพราะชั้นเคลือบผิวจะทำหน้าที่รับหยดหมึกและคงสภาพไว้ไม่ให้ซึมหรือแตกออก [37]

2.3.4 กระบวนการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (Electrophotography) เป็นการพิมพ์ที่ใช้ในเครื่องที่ใช้ประจุไฟฟ้าในการสร้างภาพแฝง (Latent image) บนโฟโตคอนดักเตอร์ดรัม (Photoconductor drum) ซึ่งมีความไวต่อแสง โดยภาพแฝงดังกล่าวจะรับข้อมูลมาจากภาพต้นฉบับที่ได้รับการฉายแสงเพื่อสะท้อนและเก็บเป็นข้อมูลของภาพต้นฉบับมาก่อนแล้วจึงสร้างภาพแฝงดังกล่าว การสร้างภาพแฝงอาจทำด้วยแสงจากหลอดทั้งสแตนด์บายหรือหลอดแอลอีดี (LED) ภาพแฝงที่เป็นประจุดังกล่าวจะทำหน้าที่รับหมึกพิมพ์แบบโทเนอร์ที่ถูกทำให้มีประจุตรงข้ามกับภาพแฝง จากนั้นโทเนอร์จะถูกถ่ายโอนไปยังวัสดุพิมพ์ เช่นกระดาษ และโทเนอร์จะถูกหลอมด้วยความร้อนและมีการใช้แรงกดเพื่อให้โทเนอร์นั้นสามารถยึดติดบนวัสดุพิมพ์ได้ จากนั้นโฟโตคอนดักเตอร์ดรัมและส่วนอื่นๆ จะถูกทำความสะอาดเพื่อรอการสร้างภาพแฝงและรับโทเนอร์ต่อไป [38] ตามภาพที่ 2-6

หมึกพิมพ์แบบโทเนอร์ประกอบด้วยตัวยึด สารให้สี สารเติมแต่งสภาพประจุ สารเติมแต่งสภาพผิวหน้า สารเติมแต่งสภาพแม่เหล็ก และสารช่วยปล่อยโทเนอร์ สำหรับสารเติมแต่งสภาพประจุจะมีทั้งที่เป็นแบบชนิดก่อดำรงบวก (Positive charge control additives) และแบบชนิดก่อดำรงลบ (Negative charge control additives) ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการสร้างภาพแฝงของเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี และสำหรับตัวยึดที่ใช้จะเป็นประเภทเรซิน โดยเรซินจะทำหน้าที่ช่วยในการยึดติดของหมึกพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ เมื่อสัมผัสกับความร้อนเรซินจะสามารถอ่อนตัวได้ที่อุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass transition temperature) จึงช่วยทำให้โทเนอร์สามารถถูกถ่ายโอนและยึดติดได้ [39]



ภาพที่ 2-6 การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (Electrophotography) [40]

2.4 การวัดค่าต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์

สำหรับการวัดค่าต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์นั้นสามารถวัดได้หลายแบบ แต่ในที่นี้จะวัดค่า 3 แบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งได้แก่ การวัดค่าความดำทางการพิมพ์ (Density) การวัดค่าสีซีแอลบี (CIELAB) และค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°) โดยในการวัดค่าต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ค่าความดำทางการพิมพ์ (Density)

ค่าความดำ (Density) [41] ในทางการพิมพ์นั้นจะบ่งบอกถึงระดับของความเข้มหรือความทึบแสงของวัตถุ เป็นค่าตัวเลขโดยเปรียบเทียบระหว่างความเข้มแสงที่ตกกระทบกับความเข้มแสงที่ส่องผ่านออกมาหรือสะท้อนออกมาจากวัตถุ ตามปกติแล้ววัตถุที่มีความดำเมื่อมีแสงมาตกกระทบวัตถุพบว่าวัตถุจะมีการดูดกลืนแสงบางส่วนไว้ ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มแสงที่ส่องผ่านออกมาหรือสะท้อนออกมาจากวัตถุมีค่าน้อยกว่าความเข้มแสงที่มาตกกระทบวัตถุนั้น ในการวัดค่าจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะตามชนิดของวัตถุ ได้แก่

- 1) ค่าความดำแบบส่องผ่าน (Transmission density) เป็นค่าความดำของวัตถุประเภทโปร่งแสง โดยค่าความดำที่วัดได้จะเปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสงที่ส่องผ่านออกมากับปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบ ซึ่งใช้วัดค่ากับฟิล์มถ่ายภาพ
- 2) ค่าความดำแบบสะท้อนแสง (Reflection density) เป็นการวัดค่าความดำของวัตถุชนิดทึบแสง โดยค่าความดำที่วัดได้จะเปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุกับปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบ ใช้วัดค่ากับหมึกพิมพ์ที่อยู่บนวัสดุใช้พิมพ์ (Substrate)

ในการวัดค่าความดำสำหรับสิ่งพิมพ์ที่ใช้วัสดุพิมพ์เช่น กระดาษ พลาสติก หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีความทึบแสง จะใช้การวัดค่าความดำแบบสะท้อนแสง (D_R) ซึ่งเป็นค่าลอการิทึมของค่าความทึบแสงของวัตถุหรือส่วนกลับร้อยละของค่าการสะท้อนแสง [42] และในการวัดจะใช้เครื่องวัดค่าความดำแบบสะท้อนแสงโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$D_R = \log \frac{1}{R} \quad \text{สมการที่ 1}$$

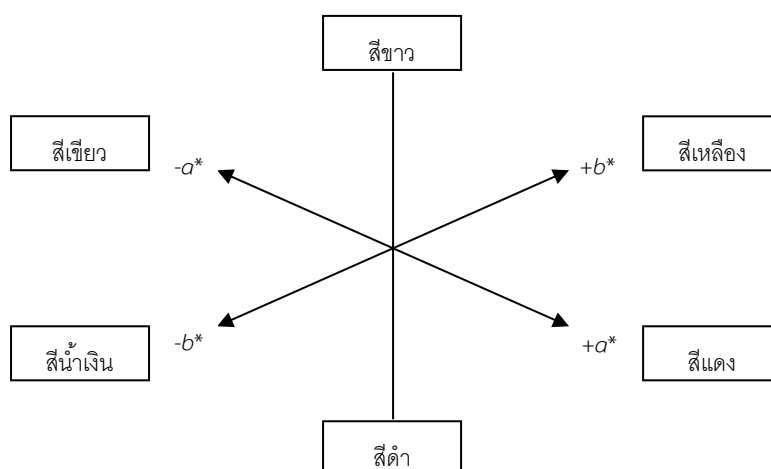
โดยที่ D_R คือ ค่าความดำจากการสะท้อนแสง
 R คือ ค่าร้อยละของค่าการสะท้อนแสง

ค่าความดำของภาพบนวัสดุใช้พิมพ์เป็นความดำของวัตถุที่บแสงโดยสัมพันธ์กับความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บนภาพ โดยในการวัดจะมีฟิลเตอร์ภายในเครื่องมือวัดที่เป็นคู่สีตรงกันข้ามกับหมึกที่พิมพ์เพื่อให้สามารถวัดระดับของความดำได้ ซึ่งถ้าบริเวณภาพพิมพ์มีความหนาของชั้นหมึกพิมพ์มาก จะส่งผลให้ค่าความดำที่วัดได้มีค่ามาก ดังนั้นค่าความดำจึงสามารถใช้ในการควบคุมปริมาณหมึกบนวัสดุใช้พิมพ์โดยช่างพิมพ์สามารถปรับหมึกเพิ่มหรือลดเพื่อให้ได้ค่าที่คงที่ตลอดการพิมพ์

นอกจากนี้ค่าความดำที่วัดได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าอื่นๆ ในการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ เช่น ค่าพื้นที่เม็ดสกรีน (Dot area) ค่าความเปรียบต่างทางการพิมพ์ (Print contrast) ค่าการจับหมึกปรากฏ (trap) ค่าความคลาดเคลื่อนสีสีน (Hue error) ค่าความเป็นสีเทา (Grayness) และค่าขอบเขตสี (Color Gamut) เป็นต้น

2.4.2 การวัดค่าสีซีแอลบี (CIELAB)

ระบบการวัดค่าสีซีแอลบี (CIELAB) [43-44] ระบบการวัดค่าสีมาจากค่าไตรสติมูลัส XYZ โดยค่าไตรสติมูลัสนั้นเป็นค่าที่ใช้เพื่อระบุสีของวัตถุหนึ่งๆ ว่ามีปริมาณสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน อยู่ มากน้อยเท่าไร โดยระบบสีซีแอลบีจะอ้างอิงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเห็นสี 3 ประการ คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (Reflectance) ค่าการกระจายพลังงาน (Spectral Power Distribution, SPD) และค่าฟังก์ชันการเทียบสีของตา (Color Matching Functions) ในส่วนของการกำหนดค่าสีซีแอลบี นั้นมาจากทฤษฎีการมองเห็นคู่สีตรงข้ามซึ่งจะแตกต่างไปจากการวัดค่าสีไตรสติมูลัสที่เป็นระบบที่สร้างขึ้นตามทฤษฎีการมองเห็นสีไตรโครมาติก [45] โดยระบบสีซีแอลบีจะมีปริภูมิสี (CIELAB color space) แบบ 3 มิติ ประกอบด้วย 3 แกน ได้แก่ แกน L^* แกน a^* และแกน b^* ตามภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ปริภูมิสีซีแอลบี (CIELAB color space)

แกน L^* เป็นแกนที่ใช้แสดงมิติความสว่างสีสัมพัทธ์ของสีที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100

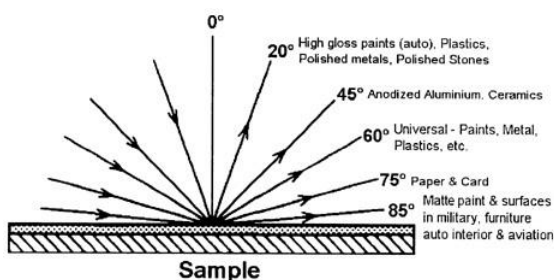
แกน a^* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีแดงและความเป็นสีเขียวของสี โดยแกนที่เป็นบวก (+) แสดงความเป็นสีแดง แกนที่เป็นลบ (-) แสดงความเป็นสีเขียว ถ้าหากค่า a^* ยังมีค่าเป็นบวกมาก สีนั้ยังมีความเป็นสีแดงมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าหากค่า a^* ยังมีค่าเป็นลบมาก สีนั้ยังมีความเป็นสีเขียวมาก

แกน b^* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสี โดยแกนที่เป็นบวก (+) แสดงความเป็นสีเหลือง แกนที่เป็นลบ (-) แสดงความเป็นสีน้ำเงิน ถ้าหากค่า a^* ยังมีค่าเป็นบวกมาก สีนั้ยังมีความเป็นสีเหลืองมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าหากค่า a^* ยังมีค่าเป็นลบมาก สีนั้ยังมีความเป็นสีน้ำเงินมาก

2.4.3 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°)

ในการวัดค่าความมันวาวของวัสดุต่างๆ นั้น จะมีเครื่องวัดค่าความมันวาวที่มีมุมของการวัดให้เลือกใช้แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะพื้นผิวหรือความมันวาวของวัสดุที่จะวัด ซึ่งมีมุมให้เลือกใช้ ได้แก่ 20 45 60 75 และ 85 องศา ซึ่งมุมดังกล่าวเป็นมุมที่กำหนดโดยวัดจากเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวที่ทำกรวัด ตามภาพที่ 2-8 มุมการวัดที่มีค่าต่ำนั้นจะเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความมันวาวสูง ในทางตรงกันข้าม มุมการวัดที่มีค่าสูงจะเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความมันวาวต่ำ เนื่องจากความสามารถในการสะท้อนตรง (Specular reflection) และสะท้อนกระจาย (Deffuse reflection) ของวัสดุนั้นจะแตกต่างกัน ทำให้ความแม่นยำในการวัดด้วยมุมต่างๆ นั้นแตกต่างกันด้วย ค่าที่วัดได้จะมีหน่วยเป็นกลอสยูนิท (Gloss Unit, GU) ซึ่งค่าความมันวาวที่วัดได้นั้นจะเป็นค่าที่เฉพาะเจาะจงกับมุมที่ทำกรวัดและเป็นค่ามาจากการเทียบกับแผ่นกระจกมาตรฐานสีดำที่มีค่าดัชนีการสะท้อนแสงเฉพาะ [46-47]

สำหรับการวัดค่าความมันวาวของกระดาษจะใช้มุมที่ 75 องศา ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 8254-1:1999 [27] ในขณะที่สิ่งพิมพ์โดยทั่วไปอาจใช้มุมการวัดที่ 60 องศา บนหมึกพิมพ์ตามมาตรฐาน ISO 2813:2014 [48] แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของมาตรฐานการพิมพ์ออฟเซตตาม ISO 12647-2:2013 [49] ระบุให้วัดค่าความมันวาวของสิ่งพิมพ์ที่เป็นกระดาษที่มุม 75 องศา



ภาพที่ 2-8 มุมการวัดค่าความมันวาว [50]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาผลของเส้นใยต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษนั้น Corson และคณะ [51] ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวและสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงกลของต้นสน *Radiata* พบว่าสมบัติของกระดาษมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของเส้นใยยาวและเส้นใยขนาดเล็ก (fine fraction) แผ่นกระดาษส่วนใหญ่ที่ผลิตจากเส้นใยที่มีผนังบางของไม้ที่ยังเจริญไม่เต็มที่ (Juvenile wood) จะให้สมบัติด้านทัศนศาสตร์ สมบัติด้านการพิมพ์ภาพฮาล์ฟโทนและภาพพื้นที่ที่ต่ำกว่ากระดาษที่ผลิตจากเส้นใยที่มีผนังหนาของไม้ที่เจริญเต็มที่แล้ว (Mature wood) อนุภาคเส้นใยขนาดเล็กแบบทุติยภูมิ (Secondary fine) จะส่งผลให้ค่าสภาพการระบายน้ำ (Freeness) ลดลงมากกว่าเส้นใยขนาดเล็กแบบปฐมภูมิ (Primary fine) แต่ไม่ช่วยในด้านสมบัติการพิมพ์ ส่วนการกระจายขนาดของรูพรุนของแผ่นกระดาษมีผลต่อการพิมพ์ซึมผ่านแต่ไม่มีผลต่อคุณภาพของเม็ดสกรีน ทั้งนี้สมบัติของกระดาษจะขึ้นกับระดับของลักษณะของเส้นใยและปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ซึ่งการควบคุมสัดส่วนปริมาณระหว่างเส้นใยและเส้นใยขนาดเล็กสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของกระดาษได้

จากการศึกษาการสัมผัสระหว่างเส้นใยในกระดาษที่ระดับจุลภาคโดย He และคณะ [52] โดยศึกษาด้วยเทคนิคคอนโฟคอล ไมโครสโกปี (Confocal microscopy) พบว่าทั้งในส่วนรูปร่างของเส้นใยในภาคตัดขวางและความยาวของเส้นใยนั้นไม่มีผลต่อสมบัติในด้านการสัมผัสกันระหว่างเส้นใยกับเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ โดยในส่วนรูปร่างในภาคตัดขวางของเส้นใยนั้นไม่มีผลต่อความถี่ในการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยและการกระจายตัวของระยะห่างของเส้นใยอิสระ (Free fibre length) หรือระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเส้นใยที่ไขว้กันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นเส้นใยที่มีผนังบางจะมีแนวโน้มในการสัมผัสกันระหว่างเส้นใยในระดับที่สูงมากภายในกระดาษ และยังพบว่าความยาวของเส้นใยเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อสมบัติในด้านการสัมผัสกันระหว่างเส้นใยกับเส้นใย แต่ระยะห่างระหว่างเส้นใยจะลดลงจากการกดรีดขณะเปียก (Wet pressing)

ผลการเกิดฮอว์นนีฟิเคชันในแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่กับการความสามารถในการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยจากการศึกษาของ Khantayanuwong และคณะ [53] โดยใช้เทคนิคคอนโฟคอลเลเซอร์แสกนนิ่งไมโครสโกปี (Confocal Laser-scanning Microscopy, CLSM) ซึ่งใช้เยื่อใยสับแบบคราฟท์ฟอกขาว (Hardwood bleached kraft pulp, HBKP) มาผลิตเป็นแผ่นทดสอบและนำไปผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ต่อ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยที่ลดลงและส่งผลให้ความแข็งแรงของแผ่นทดสอบลดลง โดยพบว่าค่าความหนาแน่นปรากฏและค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลง จาก 0.67 เป็น 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 46.3 เป็น 12.9

นิวตันเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ภายหลังจากที่ได้นำไปผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ 4 ครั้ง นอกจากนี้พบว่าแต่ละรอบของการผลิตเยื่อเวียนทำใหม่ทำให้ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (Fine content) ลดลง ซึ่งเส้นใยขนาดเล็ก (Fine) ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงโดยการปกคลุมเส้นใยที่ผิว รวมถึงการเติมในพื้นที่บริเวณรอบๆ เส้นใยที่มีการสานกันไปมา นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อไม่มีการลดลงของปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก จะพบว่าการเกิดฮอร์นนิฟิเคชันจะส่งผลเป็นอย่างมากต่อความสามารถในบวมตัว (Re-swelling) และการพริ้วตัว (conformability) จึงไม่สามารถทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างเส้นใยที่เพียงพอในแต่ละรอบของการผลิตแผ่นทดสอบ การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยลดลง ความแข็งแรงของแผ่นทดสอบจึงลดลง

จากการศึกษาผลของชนิดของเส้นใยขนาดเล็ก (Fine) ที่แตกต่างกันกับสมบัติของเยื่อเคมีแบบเยื่อเวียนทำใหม่ โดย Lee และคณะ [54] พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยขนาดเล็กจะส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบเพิ่มขึ้นในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้น ในทั้งเส้นใยขนาดเล็กแบบทุติยภูมิได้มาจากเยื่อใยสั้นแบบพอกขาว (HWBKP) และเยื่อเวียนทำใหม่แบบดิงหมัก (DIP) และความแข็งแรงของแผ่นทดสอบก็เพิ่มขึ้นด้วยเส้นใยขนาดเล็กแบบทุติยภูมิเช่นกันแต่จะมากกว่าแบบปฐมภูมิ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่กว่าและมีค่าการอุ้มน้ำ (Water retention value, WRV) สูงกว่า ในส่วนของเส้นใยขนาดเล็กแบบปฐมภูมิจากเยื่อ DIP จะเพิ่มความแข็งแรงต่อแรงดึง แต่จะลดสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (Light scattering coefficient) เมื่อผ่านจุดวิกฤต ในขณะที่เส้นใยขนาดเล็กแบบปฐมภูมิของ HWBKP จะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง แต่มีผลเล็กน้อยต่อความแข็งแรงต่อแรงดึง ทั้งนี้ยังพบอีกว่าความพรุนของแผ่นทดสอบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเติมเส้นใยขนาดเล็กทุติยภูมิมากกว่าร้อยละ 30 โดยไม่จำกัดว่าจะมาจากเยื่อชนิดใด

Tag และคณะ [55] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระดาษและของเหลวซึ่งใช้เป็นตัวแทนของหมึกพิมพ์และสารเคลือบต่อลักษณะปรากฏแก่สายตา โดยวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและความหยาบของพื้นผิว โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกฟอร์สไมโครสโคปี (Atomic Force Microscopy, AFM) ในการศึกษาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ ซึ่งความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวและความไม่สม่ำเสมอของงานพิมพ์เป็นผลมาจากความแตกต่างของชั้นสารเคลือบ ความไม่สม่ำเสมอในการดูดซึมหมึกพิมพ์ สมบัติของหมึกพิมพ์ และสภาพในการพิมพ์ โดยพบว่าพื้นฐานวิทยาศาสตร์ของพื้นผิวของกระดาษนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างยิ่งต่อการเปียกผิว

ทั้งนี้ในการศึกษาถึงกลไกการไหลของของเหลวในกระดาษนั้นได้มีการศึกษาอย่างละเอียดโดย Roberts [56] ทำให้เข้าใจถึงผลความแตกต่างของของเหลวต่อการซึมผ่านตัวกลางที่มีรูพรุนโดย

ใช้ไอโซโทรปิกไมโครโมเดลอย่างง่าย (Simple Isotropic Micromodel) ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ร่วมกับการวิเคราะห์แรงดึงผิวและมุมสัมผัสของหยดน้ำบนอัตราการผลิตของของเหลวผ่าน สมการลูคัส-วอชเบิร์น (Lucas-Wash burn) และใช้เทคนิคคริโอเอสอีเอ็ม (Cryo-SEM) ที่พัฒนาขึ้น ใหม่จากคริโอโฟโตคอนโฟคอลเลเซอร์แอสกันนิ่งไมโครสโคป (Cryo 2-Photoconfocal Laser Scanning Microscope) สามารถระบุกลไกการไหลของของเหลวที่แท้จริงกับกระดาษที่ไม่มีสารต้าน การซึมได้ ซึ่งพบว่าจะขึ้นกับชนิดของของเหลวที่ใช้เปียกผิว โดยในการเปียกผิวนั้นเกิดขึ้นในรูปของชั้น ฟิล์มของเหลวที่เป็นก้อนตามช่องว่างของผิวกระดาษที่เกิดขึ้นโดยการสานกันของเส้นใย มากกว่าการ ซึมผ่านไปตามรูพรุน การไหลของของเหลวนั้นจะไหลไปตามพื้นผิวของช่องทางที่ถูกสร้างขึ้นโดยการ สานไขว้กันของเส้นใย โดยอัตราการผลิตจะสัมพันธ์กับการซึมผ่านตามจำนวนของเส้นทางที่สามารถ ไหลผ่านได้ภายในเครือข่ายเส้นใยที่ถูกคำนวณ และจากการสังเกตพบว่าอัตราการผลิตซึมผ่านจะ ประกอบด้วยกระบวนการไหลของชั้นฟิล์มผ่านช่องว่างระหว่างเส้นใย (Inter-fiber channels) ซึ่งช้า กว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการซึมผ่านโดยการไหลผ่านรูพรุน (Meniscus flow)

ในการศึกษาการแห้งตัวของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี Luu [57] ได้ศึกษาการแห้งตัวของหมึก พิมพ์ฐานน้ำบนวัสดุพิมพ์แบบไม่เคลือบผิว ซึ่งการแห้งตัวและการถ่ายโอนหมึกของหมึกพิมพ์นั้นจะ ขึ้นอยู่กับสูตรของหมึกพิมพ์และพลังงานผิวของกระดาษ โดยหมึกพิมพ์จะมีความแตกต่างของตัวยึด (Binder) และตัวทำละลายร่วม (Co-solvents) ซึ่งส่งผลให้สมบัติความหนืด แรงดึงผิว และความต้านทานการกรอง (Filtration resistance) แตกต่างกัน ส่วนพลังงานพื้นผิวของกระดาษจะถูก เปลี่ยนด้วยสารต้านการซึม กระดาษที่ทดสอบจะถูกพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีภายใน ห้องปฏิบัติการด้วยปริมาณหมึกที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ด้วยโมเดลการดูดซึมสู่กระดาษที่เสนอ ในการวิจัยนี้ซึ่งเกี่ยวข้องกับกาไหลผ่านรูพรุนขนาดเล็ก (Capillary flow) การซึมผ่านเส้นใย (Diffusion into fiber) และความหยาบของกระดาษ (Surface roughness) ผลการวิเคราะห์พบว่า การถ่ายโอนหมึกพิมพ์และค่าความดำพื้นที่ลดลงเมื่อใช้สารต้านการซึมสำหรับหมึกบางชนิด โดย พบว่ามีความแตกต่างเล็กน้อย แต่ความแตกต่างของพลังงานผิวมีผลเป็นอย่างมากต่อการถ่ายโอน หมึกพิมพ์และค่าความดำพื้นที่สำหรับหมึกที่มีความต้านทานการกรองต่ำ ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ ระหว่างตัวทำละลายร่วมกับสารต้านการซึม (AKD) ในเชิงปริมาณโดยใช้ตัวแปรปฏิสัมพันธ์ของฟลอริ- ฮักกินส์ (Flory-Huggins χ interaction parameter) ในโมเดลที่เสนอเพื่อทำนายอัตราการผลิตซึม ผ่านซึ่งมีค่าคงที่ พบว่ากลไกขั้นต้นในการซึมผ่านของน้ำกับกระดาษที่ใส่สารต้านการซึมคือการซึมผ่าน เส้นใย (Fiber diffusion) แต่ความหยาบของพื้นผิวจะเป็นค่าที่มีนัยสำคัญกับการซึมเมื่อมีการสัมผัส ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ในการศึกษาผลของปัจจัยในการผลิตกระดาษกับคุณภาพการพิมพ์พื้นหมึกและความทนต่อแสง (Light fastness) โดย Lokendra และคณะ [58] พบว่าสมบัติของกระดาษนั้นมีอิทธิพลต่อคุณภาพการพิมพ์เป็นอย่างมาก เมื่อมีการตีเยื่อ (Refining) ในระดับสูงจะส่งผลเสียต่อสมบัติด้านทัศนศาสตร์ ในขณะที่การเติมตัวเติม (Fillers) จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านทัศนศาสตร์ ทั้งนี้การตีเยื่อและการเติมตัวเติมนั้นจะลดความหยาบ (PPS roughness) และลดการยอมไหลอากาศไหลผ่าน (permeability) ส่วนสารด้านการซึมในกระดาษ (Internal sizing) จะพบว่าส่งผลเสียต่อสมบัติด้านทัศนศาสตร์ ส่วนสารการด้านการซึมที่ผิว (Surface sizing) จะเพิ่มความหยาบและลดการยอมให้อากาศไหลผ่าน ทั้งนี้สารการด้านการซึมที่ผิวส่งผลเสียต่อสมบัติด้านทัศนศาสตร์เช่นกันแต่ก็เกิดในระดับที่น้อย ซึ่งพบว่าในส่วนของการเพิ่มค่าขอบเขตสีสามารถทำได้ด้วยการลดการดูดซึมของกระดาษ ในขณะที่ตัวเติมจะลดปริมาณของขอบเขตสีลง การเติมสารต้านกันซึม (AKD) ที่ผิวในบางระดับ ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรของขอบเขตสีและความดำพื้นที่บ สำหรับความทนต่อแสงในแต่ละสีของหมึกพิมพ์พื้นหมึกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งหมดในการผลิตกระดาษ โดยการเพิ่มสารต้านกันซึมที่ผิวจะเพิ่มความทนต่อแสง เนื่องจากสามารถเพิ่มค่าความดำพื้นที่บของหมึกพิมพ์บนกระดาษให้สูงขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าขอบเขตสีที่ได้สูงขึ้นเช่นกัน

สำหรับผลของสมบัติกระดาษกับคุณภาพการพิมพ์ในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โพรโทกราฟฟีได้มีการศึกษาโดย Chen [59] โดยใช้กระดาษในทางการค้าจำนวน 10 ชนิด ทดสอบพิมพ์กับเครื่องถ่ายเอกสาร 3 ชนิด คุณภาพการพิมพ์ที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความดำพื้นที่บ ความไม่สม่ำเสมอจากการพิมพ์ ความมันวาว ความหยาบจากการพิมพ์ และการประเมินด้วยสายตา จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในส่วนของสมบัติของกระดาษที่นำมาทดสอบนั้น ความขาวสว่าง ความทึบแสง น้ำหนักมาตรฐาน ความมันวาวที่มุม 75 องศา และความหยาบของกระดาษ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งที่มีผลต่อคุณภาพการพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสมบัติด้านทัศนศาสตร์นั้นมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพงานพิมพ์เป็นอย่างมาก สำหรับความไม่สม่ำเสมอทางการพิมพ์ที่ตรวจสอบโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยฟาสฟูเรียทรานสฟอร์ม (Fast-Fourier Transform) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับการประเมินด้วยสายตาที่ขนาด 0.1-1.0 มิลลิเมตร ในขณะที่ความมันวาวทางการพิมพ์พบว่าไม่มีผลต่อคุณภาพการพิมพ์โดยไม่เกี่ยวข้องกับขนาดของความไม่สม่ำเสมอของภาพพิมพ์ (Mottle size)

Pu และ Crouse [60] ศึกษาผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้จากกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ที่เตรียมจากกระดาษเคลือบผิว ทดสอบกับการพิมพ์ออฟเซตโดยมีกระดาษที่ผลิตทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษจากเยื่อใหม่ทั้งหมด กระดาษที่มีเยื่อเวียนทำใหม่ผสมอยู่ร้อยละ 25 และกระดาษที่มีเยื่อเวียนทำใหม่ผสมอยู่ร้อยละ 40 พบว่าค่าขอบเขตสี (Color gamut) ไม่ได้ลดลง

และไม่มีผลต่อความคมชัดของภาพเมื่อใช้เยื่อเวียนทำใหม่ผสมเข้าด้วยกัน แต่ความเรียบของพื้นผิวกระดาษจะมีผลต่อความคมชัดของภาพและความสามารถในการถ่ายโอนหมึกพิมพ์

การนำเยื่อเวียนทำใหม่มาใช้ในการพิมพ์ดิจิทัลมีการศึกษาโดย Juric และ คณะ [61] โดยกระดาษที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นกระดาษเชิงการค้า Maestro MONDI ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ร้อยละ 100 มีน้ำหนักมาตรฐาน 90 แกรม พิมพ์ด้วยการพิมพ์ดิจิทัลสีขาวดำ (Daily black and white digital printing) โดยทดสอบพิมพ์กับเครื่องพิมพ์ดิจิทัล 3 แบบ ได้แก่ DocuColour252 และ RICOH MP7500 ซึ่งทั้ง 2 เครื่องนี้เป็นการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ และ Canon IP4800 เป็นเครื่องพิมพ์แบบการพิมพ์พ่นหมึก พบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ให้ผลการพิมพ์ที่ดีและเทียบเท่ากับกระดาษที่ผลิตจากเยื่อใหม่



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของวิธีการดำเนินการวิจัยจะแสดงถึงรายละเอียดในส่วนของวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. เยื่อใยสั้น (เยื่อยูคาลิปตัสที่ผ่านการฟอก; LBKP#2)
จากบริษัท ฟินิกซ์ พัลป์ แอนเพเพอร์ จำกัด มหาชน
2. เยื่อใยยาว (เยื่อสนผสมที่ผ่านการฟอก; NBKP จาก Crofton Pulp & Paper Mill, Canada)
3. สารต้านการซึม (Alkyl Ketene Dimer; AKD) Eka DR C221 (pH = 3.8, Viscosity = 4.4 Cp, Solid content = 12.3%)
จากบริษัท อีคโซ โนเบล เพ้นท์(ประเทศไทย) จำกัด
4. C-PAM Eka PL 1510 (Dry content = 91.9%, Residual Monomer = 380.0 ppm, Insolubles 0.01%, Viscosity = 4.4 Cp)
จากบริษัท อีคโซ โนเบล เพ้นท์(ประเทศไทย) จำกัด
5. แป้งประจุบวก (Cationic starch) CATO 304
จากบริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด
6. หมึกพิมพ์ออฟเซตชุด 4 สี (SEIGWERK Temp Nutripack)
จากบริษัท ซิกเวอร์ค (ประเทศไทย) จำกัด
7. หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำชุด 4 สี (INTER-INK SF PROCESS)
จากบริษัท อินเตอร์อิงค์ จำกัด
8. กระดาษกรองเบอร์ 4 Whatman International Ltd., England
9. น้ำกลั่น

3.1.2 วัสดุและเครื่องมือ

1. เครื่องกวนผสมสาร (Magnetic stirrer) รุ่น TTS, Denver instrument, Japan
2. เครื่องตีกระจายเยื่อ (Disintegrator) รุ่น T-100, Formax, Adirondack Machine Corporation, USA
3. เครื่องบดเยื่อ (Valley beater) รุ่น UEC-2018A, Universal Engineering Corporation, India
4. เครื่องหาค่าสภาพการระบายน้ำ (Freeness tester) รุ่น CF/A, Regmed Industria Technica de Frecisao, Brazil
5. เครื่องปั่นกวน (Overhead stirrer) รุ่น RW 20, IKA® Werke GmbH, Germany
6. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ (Sheet former) รุ่น RK-2A KWT, PTI Laboratory Equipment, Austria
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง (0.1-21 kg) รุ่น GX-20K, AND, Japan
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (0.005-4,000 g) รุ่น TB-4002, Denver Instrument, Germany
9. เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (Fiber quality analyzer, FQA) รุ่น LDA02, Optest Equipment Inc., Canada
10. เครื่องวัดความชื้น (Moisture determination balance) รุ่น FD-600, Kett Electric Laboratory, Japan
11. ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น Venticell, Brand MMM, Germany
12. เครื่องวัดความหนาของกระดาษ (Thickness tester) Frank, Germany
13. เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength tester) รุ่น Stograph E-S, Toyoseiki Seisaku-SHO Ltd., Japan
14. เครื่องตัดกระดาษเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Sheet cutter) รุ่น Saltaranpur, Germany
15. เครื่องวัดความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear resistance tester) รุ่น Pro-Tear, Thwing-Albert Instrument Company, USA
16. เครื่องวัดสมบัติทางทัศนศาสตร์ของกระดาษ รุ่น Color Touch PC, Technidyne Corporation, USA

17. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrodensimeter) รุ่น x-rite 528,
X-Rite Incorporated, USA
18. เครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss meter 75°) รุ่น BYK
micro-gloss, BYK-Gardner GmbH, Germany
19. เครื่องวัดความเรียบ (Smoothness tester) รุ่น Digi-Bekk, Smoothness
Tester, Toyoseiki Seisaku-SHO Ltd., Japan
20. เครื่องวัดความต้านทานการซึมอากาศ (Air resistance) Gurley type
Porosimeter Model B No. 158, Toyoseiki Seisaku-SHO Ltd., Japan
21. เครื่องทดสอบการดูดซึมน้ำ (Cobb tester, absorbency testing device),
รุ่น SFT 03t, IGT Testing System, Netherlands
22. เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (Printability tester) IGT รุ่น AIC2-5T2000,
IGT Testing System, Netherlands
23. เครื่องกลิ้งหมึก (High Speed Inking Unit 4) IGT รุ่น HSIU4,
IGT Testing System, Netherlands
24. เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (Printability tester) IGT รุ่น F1,
IGT Testing System, Netherlands
25. เครื่องพิมพ์พ่นหมึก (Canon iPF6300 Printer)
26. เครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ (FUJI XEROX Document Centre C450)
27. กระบอกตวงขนาด 25 100 และ 1000 มิลลิลิตร
28. ปีกเกอร์ขนาด 25 50 250 และ 500 มิลลิลิตร
29. แท่งแก้วคนสาร
30. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
31. ปิเปต (Pipet)
32. ถังพลาสติกขนาด 10 และ 20 ลิตร

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของวิธีดำเนินการวิจัยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน โดยตอนที่ 1 จะเป็นการผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อใหม่ (Virgin pulp) 2 ชนิด ได้แก่ เยื่อใยสั้น (Short fiber) และเยื่อใยยาว (Long fiber) ที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 100:0 70:30 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบ และทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในกระบวนการพิมพ์ 4 ระบบ รวมถึงการพิจารณาสภาพพื้นผิวของแผ่นทดสอบและการปกคลุมของหมึกพิมพ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ดีที่สุดเพื่อนำมาทดลองในตอนที่ 2 ต่อไป

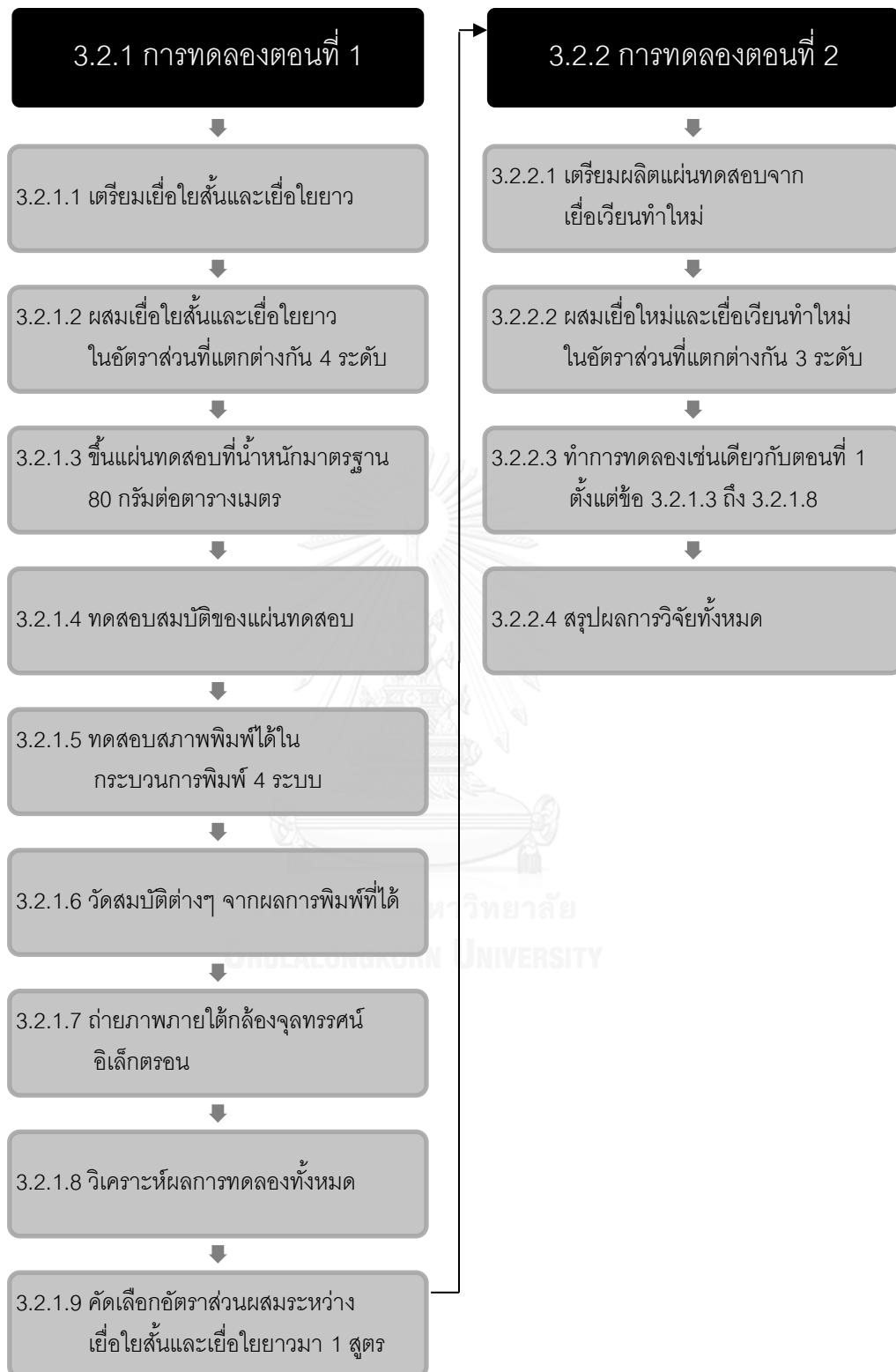
สำหรับการทดลองในตอนที่ 2 จะเป็นการผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled pulp) โดยผสมกับเยื่อใหม่ตามอัตราส่วนผสมที่ถูกคัดเลือกจากการทดลองในตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนผสมต่างกัน 3 ระดับระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ ได้แก่ 100:0 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ โดยใช้เยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด ซึ่งได้มาจากกระดาษที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมด และกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ผสมกันในอัตราส่วน 70:30 จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบและสภาพพิมพ์ได้ในกระบวนการพิมพ์ 4 ระบบ เช่นเดียวกันกับการทดลองในตอนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ

ภาพที่ 3-1 เป็นการสรุปขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยในภาพรวม สำหรับรายละเอียดในขั้นตอนต่างๆ เช่น การเตรียมน้ำเยื่อ วิธีการเตรียมสารเติมแต่งและคำนวณสัดส่วนการใช้สารเติมแต่งประเภทต่างๆ การคำนวณการขึ้นแผ่นทดสอบ เป็นต้น สามารถตรวจสอบรายละเอียดดังกล่าวได้ในภาคผนวก

3.2.1 การทดลองตอนที่ 1

3.2.1.1 การเตรียมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว

นำเยื่อใยสั้น (Softwood) และเยื่อใยยาว (Hardwood) ที่ใช้ในทางการค้าประเภทเยื่อคราฟต์ฟอกขาว มาตีกระจายและบดเยื่อด้วยเครื่องบดเยื่อ (Valley beater) ตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 [62] โดยให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำ (Freeness) ซึ่งทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94 [63] ในช่วง 330 – 350 ml CSF ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และเขียน โดยทำการบดเยื่อแยกชนิดกัน และวัดค่าสภาพการระบายน้ำซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 3-1 สรุปขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1.2 การผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วนที่ต่างกัน 4 ระดับ

ผสมเยื่อที่ผ่านการบดแล้วในอัตราส่วนเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 100:0, 70:30, 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ โดยเตรียมที่ความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.3 จากนั้นนำตัวอย่างของน้ำเยื่อไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย (Fiber morphology) ด้วยเครื่องวิเคราะห์สภาพเส้นใย (Fiber Quality Analyzer, FQA) โดยใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ISO 16065-1:2001 [64] จำนวนเส้นใยที่ทำการวัดในแต่ละครั้งคือ 5000 เส้น ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

3.2.1.3 การขึ้นแผ่นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร

นำน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มาผสมกับสารเติมแต่ง 3 ชนิด ในสัดส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการเติมตามตารางที่ 3-1 เพื่อให้ได้แผ่นทดสอบที่มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 4 ระบบ สำหรับสารเติมแต่ง 3 ชนิดที่ผสมนั้น ได้แก่

- 1) สารต้านการซึม (Alkyl Ketene Dimer, AKD) เพื่อให้สามารถทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์ฐานน้ำได้
- 2) แป้งประจุบวก (Cationic starch) เพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรงและสามารถนำไปทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 4 ระบบ โดยเฉพาะการพิมพ์ออฟเซต
- 3) สารเพิ่มการตกค้าง (Retention aid) ประเภท C-PAM (Cationic Polymers Polyacrylamide) เพื่อให้สารเติมแต่งที่ใส่ยังคงอยู่ในแผ่นทดสอบขณะที่ทำการขึ้นแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 3-1 ลำดับขั้นตอนการผสมสารเติมแต่ง

วินาทีที่	ขั้นตอนการผสม / สารเติมแต่งที่เติม	ปริมาณสารเคมีที่เติม	
		กิโลกรัมต่อตัน	ร้อยละ
0	เริ่มเดินเครื่องผสมที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที	-	-
10	รอเวลา	-	-
20	Cationic starch	3	0.3
30	รอเวลา	-	-
40	เพิ่มความเร็วเป็น 1000 รอบต่อนาที	-	-
50	AKD	5	0.5
60	C-PAM	0.15	0.015
70	ลดความเร็วลงมาที่ 500 รอบต่อนาที	-	-

เมื่อผสมสารเติมแต่งเรียบร้อยแล้วขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร โดยใช้เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบแบบ Rapid-Kothen ตามมาตรฐาน ISO 5269-2:1998 [65] โดยกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนจากน้ำหนักมาตรฐานที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 5 (76 – 84 กรัมต่อตารางเมตร) ตามมาตรฐานกระดาษพิมพ์และเขียน มอก.287-2533 [65] โดยขึ้นแผ่นทดสอบประมาณ 80 แผ่นต่อตัวอย่างเยื่อ

3.2.1.4 การทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบใน 5 ด้าน

(1) สมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบ ทดสอบทั้งหมด 4 รายการ ได้แก่

1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) คือ การหาค่าน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของแผ่นทดสอบในหน่วยของกรัมต่อตารางเมตร หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แกรม (Gram) ตามมาตรฐาน ISO 536:1995 [16] ทำการวัดแผ่นทดสอบทุกแผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง

1.2 ความหนา (Thickness) คือ ระยะห่างในแนวตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้ง 2 ด้านของแผ่นทดสอบ โดยทำการวัดด้วยเครื่องวัดความหนา (Thickness tester) ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 [17] ทำการวัดแผ่นทดสอบชุด (Batch) ละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง

1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (density) สามารถคำนวณได้โดยนำค่าน้ำหนักมาตรฐานหารด้วยความหนาของแผ่นทดสอบนั้นๆ โดยรายงานในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามมาตรฐาน ISO 534:1988 [17]

1.4 ความต้านอากาศ (Air resistance, Gurley method) เป็นการวัดความสามารถของแผ่นทดสอบในการยอมให้อากาศไหลผ่าน (Air resistance) ตามมาตรฐาน ISO 5636-5:2003 [18] วัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง โดยค่าความต้านอากาศจะสัมพันธ์กับลักษณะของรูพรุนในด้านจำนวน ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของรูพรุนภายในแผ่นทดสอบ

(2) สมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบ ทดสอบทั้งหมด 2 รายการ ได้แก่

2.1 ความต้านแรงฉีก (Tear index, Elmendorf method) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1974:1990 [19] ด้วยเครื่องทดสอบตามวิธีของเอลเมนดอร์ฟ (Elmendorf method) โดยให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องอยู่ในระดับร้อยละ 40 ของค่าสูงสุดที่สามารถอ่านได้ตามลูกตุ้ม (Pendulum) ที่ใช้ โดยมีการช้อนแผ่นทดสอบประมาณ 2-3 ชิ้น วัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง โดยค่าที่วัดได้นั้นจะรายงานเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นทดสอบ (ดัชนีความต้านแรงฉีก)

2.2 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1924-2:1994 [20] ความเร็วในการดึง (Speed range) 20 มิลลิเมตรต่อนาที ช่วงการอ่านค่า (Load range) 100 นิวตัน วัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง โดยค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงที่วัดได้นั้นจะรายงานเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นทดสอบ (ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง)

(3) สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของแผ่นทดสอบ ทดสอบทั้งหมด 4 รายการ ได้แก่

3.1 ความขาว (CIE Whiteness) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 11475:1999 [21] ซึ่งเป็นการวัดค่าความขาวด้วยการส่องสว่างแบบ D65 (illuminant D65) และมุมของผู้สังเกตการณ์ที่ 10 องศา (D65/10°) โดยใช้เครื่อง Technidyne รุ่น Color Touch PC โดยทำการวัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง วัดเฉพาะด้านสีกลาด

3.2 ความขาวสว่าง (ISO Brightness) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 2470:1999 [23] ซึ่งเป็นการวัดค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องทดสอบเดียวกันกับข้อ 3.1 ทำการวัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง วัดเฉพาะด้านสีกลาด

3.3 ความทึบแสง (Opacity) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 2471:1998 [24] ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการขวางกั้นแสงไม่ให้ส่องผ่านแผ่นทดสอบ ในการวัดค่าจะวัดแบบใช้แผ่นทดสอบซ้อนกัน (Pad) อย่างน้อย 10 แผ่น โดยใช้เครื่องทดสอบเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1 ทำการวัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง วัดเฉพาะด้านสีกลาด

3.4 ความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°) ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ISO 8254:1999 [28] ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกันกับ TAPPI T 480 om-99 [67] ทำการวัดแผ่นทดสอบทุกแผ่น

3.5 ค่าสี (CIELAB value) ทำการวัดค่าใน 2 แบบ แบบที่ 1 ตามตารางที่ 3-2 เป็นการวัดค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษตามวิธีมาตรฐาน ISO 5631-2:2008 [26] โดยใช้เครื่องทดสอบเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1 โดยวัดแผ่นทดสอบชุดละ 3 แผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง และในแบบที่ 2 ตามตารางที่ 3-3 ซึ่งเป็นการวัดค่าสีที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการพิมพ์ตามวิธีมาตรฐาน ISO 13656:2000 [68] โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น x-rite SpectroEye ทำการวัดแผ่นทดสอบทุกแผ่น แผ่นละ 1 ครั้ง

ตารางที่ 3-2 สภาพการวัดแบบที่ 1 ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษ

สภาพการวัด (Measurement setting)
1. มุมของแหล่งกำเนิดแสงแบบสะท้อนกระจายและอุปกรณ์ตรวจวัดแบบ 0 องศา (D/0°)
2. การส่องสว่างแบบ D65 (Standard illuminant D65)
3. มุมของผู้สังเกตการณ์ 10 องศา (Standard observe 10°)
4. วัดเทียบสีขาวสัมบูรณ์ (Absolute white base)

ตารางที่ 3-3 สภาพการวัดแบบที่ 2 ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการพิมพ์

สภาพการวัด (Measurement setting)
1. มุมของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจวัดแบบ 45 องศาและ 0 องศา (45°/0° ring optic geometry)
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดสำหรับกรวัด 4.5 มิลลิเมตร (4.5 mm measurement aperture)
3. การส่องสว่างแบบ D50 (Standard illuminant D50)
4. มุมของผู้สังเกตการณ์ 2 องศา (Standard observe 2°)
5. วัดเทียบสีขาวสัมบูรณ์ (Absolute white base)
6. วัสดุรองหลังสีขาว (White backing material)
7. ไม่มีการใช้ฟิลเตอร์ (No physical filter)

(4) สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทานของแผ่นทดสอบ ทดสอบทั้งหมด 2 รายการ

4.1 การดูดซึมน้ำที่เวลา 60 วินาที (Cobb 60) ตามมาตรฐาน ISO535:1991 [29] ซึ่งจะเป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบในพื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร โดยใช้น้ำกลั่นในการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบจะสัมพันธ์กับความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบ

4.2 การพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration) ทำการทดสอบตามวิธีของ IGT information leaflet W24 print penetration (oil absorption) [30] กับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (IGT Print Ability Tester AIC2-5T2000) ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของหมึกพิมพ์ทดสอบ (Dibutylphtalate with 1% sudan Red) จำนวน 1 หยด เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซึมหมึกประเภทฐานน้ำมันในพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งจะเกิดเป็นรอยเปื้อนแนวยาวของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบขณะที่ถูกพิมพ์ โดยวัดค่ารอยเปื้อนของหมึกทดสอบในหน่วยมิลลิเมตร ถ้ารอยเปื้อนยังมีความยาวมากแสดงว่าการซึมผ่านในแผ่นทดสอบนั้นไม่ดี ในการวัดค่าจะใช้ค่าส่วนกลับของรอยเปื้อนในหน่วยมิลลิเมตรคูณกับ 1000 เพื่อให้ได้ค่าที่สามารถเปรียบเทียบได้ง่ายในหน่วยต่อเมตร โดยเรียกว่าค่าการพิมพ์ซึมผ่าน

(5) สมบัติด้านพื้นผิวของแผ่นทดสอบ ทดสอบทั้งหมด 2 รายการ ได้แก่

5.1 ความเรียบ (Smoothness) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5627:1995 [31] ด้วยวิธีของ เบคค์ (Bekk method) โดยจะทำการปล่อยอากาศตามปริมาตรที่กำหนดให้ไหลผ่านผิวหน้าของแผ่นทดสอบทางด้านล่างชุดเครื่องทดสอบความเรียบ จากนั้นจับเวลากระทั่งอากาศไหลผ่านผิวหน้า กระดาษจนหมดในหน่วยวินาที

5.2 ความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength) ทดสอบตามวิธีการทดสอบ IGT information leaflet W31 picking [69] ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับมาตรฐาน ISO3783:1980 [32] ทดสอบโดยการใช้หมึกทดสอบของ IGT ที่มีความหนืดแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ความหนืดสูง (High viscosity) ความหนืดปานกลาง (Medium viscosity) และความหนืดต่ำ (Low viscosity) โดยเลือกใช้ระดับความหนืดที่เหมาะสมกับสภาพความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบ ทดสอบกับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (IGT Print Ability Tester AIC2-5T2000) เมื่อแผ่นทดสอบถูกทดสอบผิวหน้าของแผ่นทดสอบจะมีการหลุดลอกออกมาตามแนวที่ทดสอบพิมพ์หรือเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า การถอนผิว (Picking) โดยสามารถรายงานได้ในหน่วยเมตรต่อวินาทีสำหรับความเร็วที่จุดทดสอบ (Velocity at point in m/s) หรือรายงานในหน่วยนิวตันต่อเมตรสำหรับผลของความเร็วและความหนืดรวมกัน (Velocity Viscosity Product, VVP) โดยในการวิจัยนี้จะเลือกรายงานในหน่วยนิวตันเมตร

3.2.1.5 การทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในกระบวนการพิมพ์ 4 ระบบ ดังนี้คือ

(1) การพิมพ์ออฟเซต (Offset printing)

สำหรับการทดสอบการพิมพ์ออฟเซตนั้น ทำการทดลองกับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT AIC2-5T2000 ดังแสดงในภาพที่ 3-2 โดยทดสอบพิมพ์ตามมาตรฐาน ISO 2834-1:2006 [70] ซึ่งในการทดสอบพิมพ์จะเลือกใช้ลูกกลิ้งการพิมพ์แบบฝ้ายาง (Rubber blanket printing disc) เพราะผิวหน้าของแผ่นทดสอบมีลักษณะหยาบเหมาะที่จะพิมพ์ด้วยลูกกลิ้งการพิมพ์แบบฝ้ายางมากกว่า ลูกกลิ้งการพิมพ์แบบยางเคลือบ (Coated rubber printing disc)



ภาพที่ 3-2 เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT AIC2-5T2000

ในการพิมพ์จะกำหนดให้พิมพ์เพื่อให้ได้ค่าการถ่ายโอนหมึกที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ในช่วง 1.0–1.9 และ 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร (ได้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ประมาณ 1-3 ไมครอน) ซึ่งโดยทั่วไปการพิมพ์ออฟเซตจะให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ประมาณ 2 ไมครอน [5] โดยใช้ปิเปต (IGT Ink pipette) สำหรับจ่ายหมึกพิมพ์ชั้นหนืด (Paste ink) โดยเฉพาะ และในส่วนของกรการกลิ้งหมึกพิมพ์และจ่ายหมึกให้กับลูกกลิ้งการพิมพ์จะใช้เครื่องกลิ้งหมึก (IGT High Speed Inking Unit 4, HISU4) ดังแสดงในภาพที่ 3-3 โดยในส่วนของสภาพการพิมพ์ต่างๆ ที่ได้ปรับตั้งนั้น ได้ระบุรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3-4 สำหรับงานพิมพ์ที่ได้จะเป็นแบบพื้นตาย (Solid) ขนาดพื้นที่พิมพ์ประมาณ 200x50 มิลลิเมตร ทำการพิมพ์ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 3-3 เครื่องกลิ้งหมึก (IGT High Speed Inking Unit 4, HISU4)

หมึกพิมพ์ออฟเซตที่ใช้เป็นหมึกพิมพ์ชุด 4 สี ได้แก่ สีเหลือง (Yellow) สีม่วงแดง (Magenta) สีน้ำเงินเขียว (Cyan) และสีดำ (Black) หรือเรียกรวมว่า ซีเอ็มวายเค (CMYK) สำหรับ

การพิมพ์สอดสี (Process Printing) ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ประเภทธรรมดา (Conventional Ink) ของซิกเวิร์ค (SEIGWERK Temp Nutripack) ซึ่งหมึกพิมพ์ในรุ่นนี้ได้รับการรับรองตามมาตรฐานการพิมพ์ออฟเซต ISO 12647-2 (สำหรับกระดาษประเภท 1 และ 2) นอกจากนี้ยังเป็นหมึกพิมพ์ที่สามารถใช้ร่วมกับบรรจุภัณฑ์อาหาร (Food grade) โดยเป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันพืช (Vegetable oil base) โดยปราศจากน้ำมันปิโตรเลียม (Mineral oil free) และสำหรับการวัดค่าต่างๆ หลังจากพิมพ์เสร็จแล้วจะนับดำเนินการหลังจากที่ปล่อยให้หมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบแห้งตัว (Oxidation / setting) มากกว่า 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-4 สภาพการพิมพ์ที่กำหนดในการทดสอบพิมพ์กับหมึกพิมพ์ออฟเซต

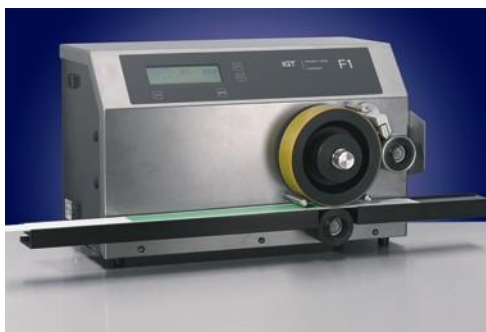
รายละเอียดสภาพการพิมพ์	ค่าที่กำหนด (หน่วย)	
1. การตั้งค่าเครื่องกลิ้งหมึก (Inking unit setting)		
1.1. อุณหภูมิเครื่องกลิ้งหมึก (Inking unit temperature)	24±1	องศาเซลเซียส (°C)
1.2. รูปแบบการปรับตั้ง (Mode)	2	
1.3. เวลาเริ่มต้นเกลี่ยหมึก (Starting time)	5	วินาที (s)
1.4. เวลาในการกลิ้งหมึก (Distribution time)	20	วินาที (s)
1.5. ความเร็วในการกลิ้งหมึก (Distribution speed)	1.2	เมตรต่อวินาที (m/s)
1.6. เวลาในการรับหมึก (Inking time printing disc)	20	วินาที (s)
1.7. ปริมาตรหมึก (Ink volume)		
ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร (g/m ²)	0.08	ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm ³)
ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร (g/m ²)	0.15	ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm ³)
2. การตั้งค่าเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (Printability tester setting)		
2.1. ความเร็วในการพิมพ์ที่ความเร็วคงที่ (Constant printing speed)	0.3±1	เมตรต่อวินาที (m/s)
2.2. แรงกดพิมพ์ (Printing force)	625	นิวตัน (N)
2.3. แนวเส้นแรงกดพิมพ์ (Print line pressure)	125±25	นิวตันต่อเซนติเมตร (N/cm)
2.4. ลูกกลิ้งการพิมพ์ (Printing disc) แบบผ้ายาง (IGT (402.089) rubber blanket, 50 mm, Ø mm)		

การพิมพ์ด้วยเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ (IGT AIC2-5T2000) นั้นแตกต่างไปจากเครื่องพิมพ์จริง เนื่องจากไม่ได้มีการใช้แม่พิมพ์และน้ำยาฟาว์นเทนเหมือนกับเครื่องพิมพ์ออฟเซตจริง ดังนั้นผลการพิมพ์ที่ได้จะไม่ได้รับผลกระทบจากความชื้นหรือน้ำยาฟาว์นเทน ซึ่งมีข้อดีในแง่ลดปัจจัยที่ความชื้นจะมีผลต่อความสามารถในการรับหมึกของแผ่นทดสอบ แต่ก็ไม่สามารถจำลองสภาพการพิมพ์ให้คล้ายกับที่เกิดขึ้นเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์จริง

(2) การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography)

สำหรับการทดสอบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี จะใช้เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1 ตามภาพที่ 3-4 ด้วยลูกกลิ้งการพิมพ์ (IGT 402.225) ที่มีขนาดความละเอียดของแอนิลอกซ์ต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 140 100 80 และ 60 เส้นต่อเซนติเมตร (l/cm) หรือ 150 200 250 และ 350 เส้นต่อนิ้ว (l/inch) ตามลำดับ มีมุมสกรีน (Screen angle) ที่ 53 องศา และมีปริมาตร 16 11 9 และ 7 มิลลิเมตรต่อตารางเมตร (ml/m²) ตามลำดับ โดยปรับตั้งแรงกดระหว่างแอนิลอกซ์กับแม่พิมพ์ (Inking force) ที่ 200 นิวตัน แรงกดระหว่างแม่พิมพ์กับแผ่นทดสอบ (Printing force) ที่ 300 นิวตัน และใช้ความเร็วในการพิมพ์ที่ 0.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบโดยทั่วไปกับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1

สำหรับหมึกพิมพ์จะใช้หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ (Water-based ink) ชุดสอดสี 4 สี (CMYK) ของอินเตอร์อิงค์ (INTER-INK SF PROCESS) ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์แบบธรรมดา (Conventional ink) โดยงานพิมพ์ที่ได้จะเป็นแบบพื้นทึบ (Solid) ขนาดพื้นที่พิมพ์ประมาณ 200x10 มิลลิเมตร ต่อ 1 ความละเอียดของแอนิลอกซ์ ทำการพิมพ์ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยเมื่อทดสอบพิมพ์เสร็จแล้วจะปล่อยให้แห้งมากกว่า 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะทำการวัดค่าต่างๆ ต่อไป การพิมพ์ด้วยเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1 จะค่อนข้างแตกต่างจากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟี เนื่องจากจะไม่มีผลของแรงดึงเข้ามาเกี่ยวข้อง อีกทั้งไม่มีชุดอบแห้ง (Dryer) เหมือนในเครื่องพิมพ์จริง



ภาพที่ 3-4 เครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1 [71]

(3) การพิมพ์พ่นหมึก (Inkjet printing)

ทดสอบการพิมพ์พ่นหมึกกับแผ่นทดสอบด้วยเครื่องพิมพ์พ่นหมึกทางการค้า (Canon iPF6300 printer) โดยพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 พิมพ์แบบพื้นที่ทับกับหมึกพิมพ์ 4 สี (CMYK) ขนาดพื้นที่พิมพ์ประมาณ 40x20 มิลลิเมตร ทำการพิมพ์ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 3-5 เครื่องพิมพ์พ่นหมึก (Canon iPF6300 printer) [72]

(4) การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (Electrophotography)

ทดสอบการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีกับแผ่นทดสอบด้วยเครื่องถ่ายเอกสารทางการค้า (FUJI XEROX document centre C450) ทำการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 พิมพ์แบบพื้นที่ทับกับหมึกพิมพ์ 4 สี (CMYK) ประมาณ 40x20 มิลลิเมตร ทำการพิมพ์ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ 3-6 เครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (FUJI XEROX Document Centre C450)

3.2.1.6 การวัดสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบ ได้แก่ ค่าความด้าพื้นทึบ (Solid density) วัดค่าแถบละ 9 จุด และวัดค่าความมันวาว (Gloss) ที่มุม 75 องศา วัดค่าแถบละ 3 จุด โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับสภาพในการวัดค่าความด้าพื้นทึบจะเป็นไปตามตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 สภาพการวัดค่าความด้าพื้นทึบ (Solid density)

สภาพการวัด (Measurement setting)
1. มุมของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจวัดแบบ 45 องศาและ 0 องศา (45°/0° ring optic geometry)
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดสำหรับการวัด 4.5 มิลลิเมตร (4.5 mm measurement aperture)
3. การส่องสว่างแบบ D50 (Standard illuminant D50)
4. รูปแบบการวัดแบบสเตตัสที (Status T)
5. วัดเทียบสีขาวของกระดาษ (Paper white base)
6. วัสดุรองหลังสีดำ (Black backing material)
7. ไม่มีการใช้ฟิลเตอร์ (No physical filter)

3.2.1.7 นำตัวอย่างแผ่นทดสอบก่อนและหลังการทดสอบสภาพพิมพ์ได้มาทำการถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะผิวหน้ารวมถึงลักษณะรูปร่างเส้นใยบนแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ โดยจะถ่ายภาพในบริเวณกึ่งกลางของแผ่นทดสอบระหว่างบริเวณที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุมและไม่มีหมึกพิมพ์ปกคลุมที่กำลังขยาย 200 เท่า ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่าง 2 บริเวณนี้ได้ และพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะของหมึกพิมพ์แต่ละชนิดที่ปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบ โดยถ่ายภาพบริเวณเฉพาะที่หมึกพิมพ์ปกคลุม 500 เท่า ซึ่งสามารถสังเกตลักษณะของหมึกพิมพ์แต่ละชนิดในกระบวนการพิมพ์ที่ต่างกันบนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดได้ จากนั้นจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะของภาพที่ถ่ายได้กับผลการทดลองต่างๆ

3.2.1.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองบนแผ่นทดสอบชนิดต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบโดยใช้วิธีทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อวิเคราะห์สภาพของแผ่นทดสอบนั้นส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นทดสอบ และผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ จากนั้นจึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ทำการวัดบนคู่ของแผ่นทดสอบชนิดต่างๆ เพื่อพิจารณาว่ามีความแตกต่างหรือไม่แตกต่างกันในระหว่างคู่ใดบ้าง ด้วยวิธีของตุ๊กกี (Tukey) รวมถึงการพิจารณาแนวโน้มของค่าที่วัดได้ต่างๆ ว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะทิศทางเดียวกันหรือไม่อย่างไร

3.2.1.9 การคัดเลือกอัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว ที่ให้สภาพพิมพ์ได้ดีกับทั้งหมึกพิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 4 แบบมา 1 สูตร เพื่อนำมาทดลองในตอนที่ 2 ต่อไป

3.2.2 การทดลองตอนที่ 2

3.2.2.1 การเตรียมผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่

ผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled pulp) โดยผสมเข้ากับเยื่อใหม่ (Virgin pulp) ที่ได้มาจากการคัดเลือกอัตราส่วนผสมในการทดลองตอนที่ 1 ที่สามารถให้ผลการทดสอบในด้านต่างๆ ดีที่สุด โดยในส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่นำมาผสมนั้นมีทั้งหมด 2 ชนิด โดยเตรียมมาจากกระดาษถ่ายเอกสารทางการค้าที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมด และกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ผสมกันในอัตราส่วน 70:30

3.2.2.2 การผสมเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน 3 ระดับ

เตรียมเยื่อเวียนทำใหม่จากกระดาษถ่ายเอกสารทั้ง 2 ชนิด โดยเตรียมแยกกัน คำนวณหาปริมาณเยื่อทั้งหมดที่ต้องใช้จากน้ำหนักแห้งของกระดาษถ่ายเอกสารทั้ง 2 ชนิด โดยใช้น้ำหนักเยื่อแห้ง 360 กรัม ต่อ 1 ชุด ซึ่งเยื่อเวียนทำใหม่แต่ละชนิดจะถูกเตรียม 2 ชุด เพื่อให้ได้ปริมาณเยื่อที่เพียงพอต่อการนำไปขึ้นแผ่นทดสอบ จากนั้นนำกระดาษมาตัดให้เป็นแผ่นขนาดเล็กประมาณ 5x5 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่น้ำในถังขนาด 10 ลิตร ที่มีน้ำประมาณ 5 ลิตร จนกระดาษเปื่อย (ประมาณ 4 ชั่วโมง) จากนั้นขยำกระดาษให้กระจายกลายเป็นน้ำเยื่อ แล้วนำไปตีกระจายด้วยเครื่องบดเยื่อ (Valley Beater) เช่นเดียวกับกับการทดลองในตอนที่ 1 โดยไม่ต้องใส่ดรัมน้ำหนัก ตีกระจายประมาณ 5 นาที จนได้น้ำเยื่อ แล้วจึงวัดค่าสภาพการระบายน้ำ จากนั้นนำน้ำเยื่อที่เตรียมได้แล้วนำไปกรองและปั่นแยกเพื่อให้สามารถเก็บแช่เย็นไว้ในลักษณะเยื่อเปียกได้สำหรับนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

คำนวณหาปริมาณเยื่อแห้งที่ต้องใช้ทั้งหมดจากเยื่อเปียกที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิด เพื่อนำไปผสมกับเยื่อใหม่ โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ 3 ระดับ ได้แก่ 100:0 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองตอนที่ 2 นี้ จะมีตัวอย่างเยื่อรวมทั้งหมด 5 ชนิด เพราะที่อัตราส่วน 100:0 จะได้มาจากเยื่อใหม่ในการทดลองในตอนที่ 1 จากนั้นเตรียมน้ำเยื่อที่ผสมในแต่ละอัตราส่วนสำหรับขึ้นแผ่นทดสอบที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำเยื่อสำหรับนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยต่อไป

3.2.2.3 ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 ตั้งแต่ข้อ 3.2.1.3 ถึง 3.2.1.8

ดำเนินการทดลองต่อเช่นเดียวกับตอนที่ 1 ตั้งแต่ข้อ 3.2.1.3 ขึ้นแผ่นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร จนถึงข้อ 3.2.1.8 วิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมด โดยเติมสารเติมแต่งเช่นเดียวกันกับการทดลองในตอนที่ 1 และเมื่อขึ้นแผ่นทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำแผ่นทดสอบไปทดสอบสมบัติของกระดาษและสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ทั้ง 4 แบบ จากนั้นจึงวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยและผลของการผสมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษ เช่นเดียวกันกับการทดลองในตอนที่ 1

3.2.2.4 สรุปผลการวิจัยทั้งหมด

นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปผลการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ และวิเคราะห์ผลที่ได้การทดลองจากทั้งตอนที่ 1 และ 2 ร่วมกันโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) ของความสัมพันธ์ในด้านต่างๆ เพื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการทดลองในบทที่ 4 นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ตอน โดยการทดลองในตอนที่ 1 จะเป็นการผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อใหม่ 2 ชนิด ได้แก่ เยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ดีที่สุดกับการพิมพ์ทั้ง 4 ระบบ เพื่อนำมาทดลองในตอนที่ 2 ต่อไป สำหรับผลการทดลองในตอนที่ 2 จะเป็นการผลิตแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ โดยผสมกับเยื่อใหม่ตามอัตราส่วนผสมที่ถูกคัดเลือกจากการทดลองในตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กัน โดยใช้เยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด เพื่อศึกษาผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ

4.1 ผลการทดลองตอนที่ 1

ผลการทดลองในตอนที่ 1 เป็นการผลิตกระดาษหรือแผ่นทดสอบจากเยื่อใหม่ (Virgin pulp) โดยใช้อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันระหว่างเยื่อใหม่ 2 ชนิด ได้แก่ เยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว ที่อัตราส่วนผสมต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 100:0 70:30 50:50 และ 0:100 กำหนดสัญลักษณ์ของเยื่อผสมแต่ละตัวอย่างตามลำดับดังนี้ คือ H10 H7S3 H5S5 และ S10 จากนั้นจึงนำเยื่อผสมที่ได้ไปขึ้นแผ่นทดสอบแล้วทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบและสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ 4 ระบบ ได้แก่ ออฟเซต เฟล็กโซกราฟี ระบบพ่นหมึก และอิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี เพื่อพิจารณาคัดเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ดีที่สุดมา 1 สูตร เพื่อนำมาทดลองในตอนที่ 2 ต่อไป

4.1.1 สภาพการระบายน้ำของเส้นใย

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าสภาพการระบายน้ำของเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 330 – 350 มิลลิลิตร โดยเป็นค่าสภาพการระบายน้ำโดยทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษพิมพ์และเขียน

ตารางที่ 4-1 สภาพการระบายน้ำของเส้นใย

ชนิดของเยื่อ	ค่าสภาพการระบายน้ำ (มิลลิลิตร)
เยื่อใยสั้น	335±5
เยื่อใยยาว	338±5

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใย

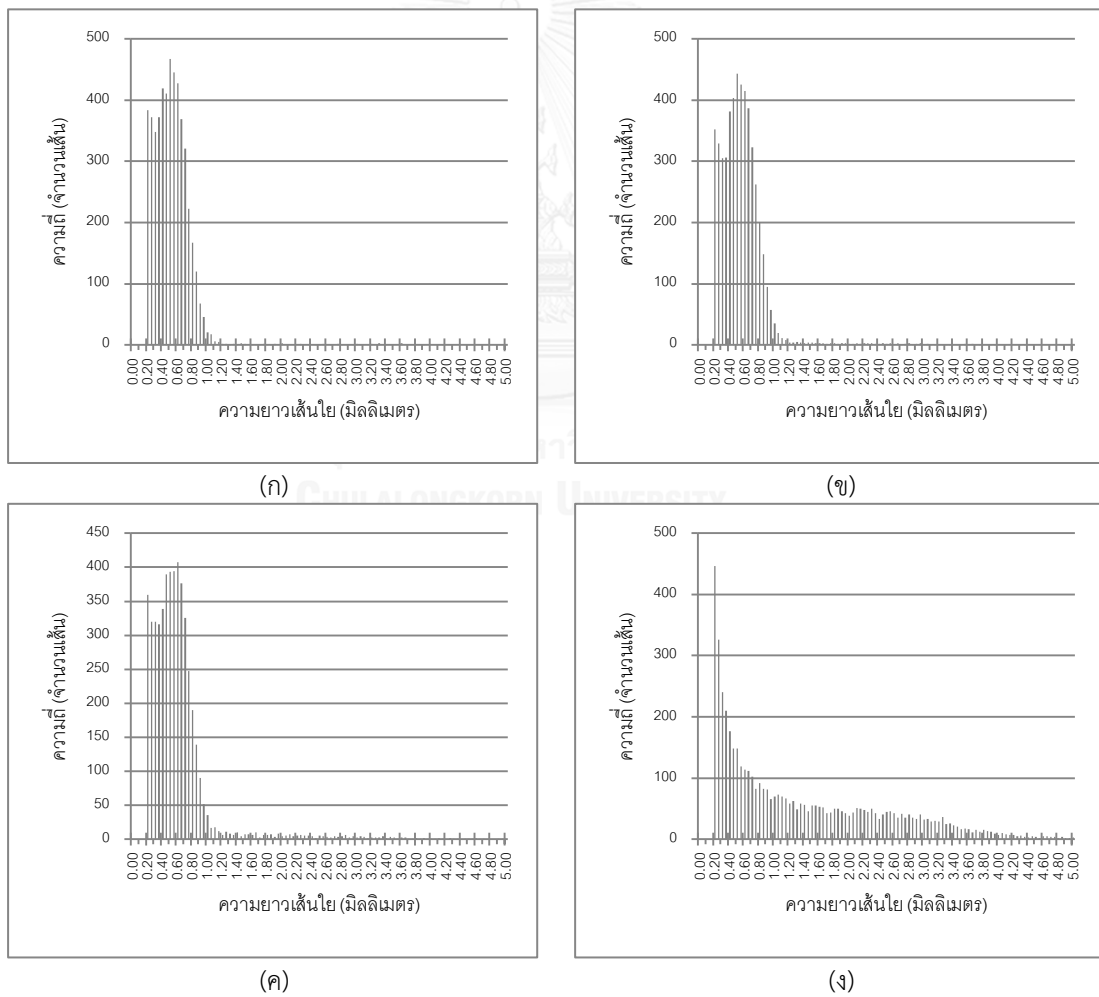
นำเยื่อผสมที่ได้จากเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วนผสมต่างกัน 4 ระดับ มาวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใย คือ ด้านความยาวของเส้นใย (Length weighted length, Lw) ความกว้างของเส้นใย (Fiber width) ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (Fine percent) ค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งงอของเส้นใย (Mean curl) ดัชนีการหักงอของเส้นใย (Kink index) และการแจกแจงความยาวของเส้นใย (Fiber length distribution) ตามตารางที่ 4-2 ดังนี้

ตารางที่ 4-2 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ			
		H10	H7S3	H5S5	S10
1. ความยาวของเส้นใย	(mm)	0.61±0.01	0.79±0.02	1.01±0.03	2.31±0.11
2. ความกว้างของเส้นใย	(µm)	15.73±5.13	16.27±5.83	17.03±6.43	25.80±8.30
3. ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก	(%)	27.24±0.12	26.01±0.50	28.67±0.06	49.28±3.49
4. ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย	-	0.124±0.005	0.097±0.003	0.102±0.002	0.079±0.003
5. ดัชนีความหักงอของเส้นใย	-	2.415±0.029	2.103±0.005	2.065±0.036	1.059±0.010

พบว่าค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใย (Length weighted length, Lw) ซึ่งค่านี้จะให้น้ำหนักกับเส้นใยที่ยาวมากกว่าเส้นใยที่สั้น เนื่องจากเส้นใยยาวจะส่งผลต่อสมบัติกระดาษโดยรวมมากกว่า [73-74] โดยเยื่อใยสั้นในตัวอย่าง H10 มีขนาดสั้นกว่าเส้นใยจากเยื่อใยยาวในตัวอย่าง S10 ซึ่งต่างกันประมาณ 4 เท่า โดยขนาดความยาวของเส้นใยเฉลี่ยจากน้อยไปมากคือ H10 H7S3 H5S5 และ S10 ตามลำดับ ตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยความกว้างของเส้นใยพบว่าตัวอย่าง H10 H7S3 H5S5 และ S10 มีค่าเรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก โดยตัวอย่าง H10 H7S3 และ H5S5 จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่ตัวอย่าง S10 มีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใย สำหรับปริมาณเส้นใยขนาดเล็กพบว่าเยื่อใยยาวในตัวอย่าง S10 มีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กเกิดขึ้นมากกว่าเยื่อใยสั้นในตัวอย่าง H10 ประมาณ 2 เท่า ในขณะที่ H7S3 และ H5S5 ที่มีการผสมกันระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวมีปริมาณของเส้นใยขนาดเล็กค่อนข้างใกล้เคียงกับ H10 ที่เป็นเยื่อใยสั้นอย่างเดียว เนื่องจากเยื่อใยยาวถูกบดเยื่อเพื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำที่กำหนดจึงใช้เวลาในการบดเยื่อมากกว่าเยื่อใยสั้นจึงทำให้เกิดการตัดของเส้นใยได้มาก ทั้งนี้แนวโน้มของค่าที่วัดได้ในการวิเคราะห์ทั้งความยาวและความกว้างของเส้นใย และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กจะสังเกตเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

สำหรับค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งของเส้นใย พบว่าภายหลังจากการบดเยื่อนั้น เยื่อใยสั้นจะมีค่าที่สูงกว่าเยื่อใยยาวโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ H10 และ S10 เนื่องจากในการบดเยื่อจะเป็นการบดเพื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำในระดับเดียวกันในช่วง 330 – 350 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ระดับสภาพการระบายน้ำค่อนข้างต่ำจึงอาจเป็นไปได้ว่าสามารถส่งผลให้เยื่อใยสั้นเกิดการโค้งมากกว่าเยื่อใยยาว ทั้งนี้ในการบดเยื่อจะบดเยื่อที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (Low consistency) ภายในห้องปฏิบัติการจะส่งผลให้ลดการโค้งและการหักงอของเส้นใยได้ [75] โดยเยื่อใยยาวจะใช้เวลาในการบดที่มากกว่าเยื่อใยสั้นเพื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำตามที่กำหนด สำหรับตัวอย่าง H7S3 และ H5S5 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งของเส้นใยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างตัวอย่างที่ H10 และ S10 ที่เป็นเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวล้วน ในส่วนของดัชนีการหักงอของเส้นใย พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งของเส้นใย



ภาพที่ 4-1 การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ในการทดลองตอนที่1

(ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10

การวิเคราะห์การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20 – 5.00 มิลลิเมตร สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 4-1 โดยพบว่าในภาพที่ 4-6 (ก) (ข) และ (ค) จะสามารถสังเกตเห็นลักษณะรูปแบบการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่คล้ายกัน ในขณะที่ภาพที่ 4-6 (ง) ซึ่งเป็นการแจกแจงความยาวของเส้นใยในตัวอย่าง S10 จะมีการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่แตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีความถี่จำนวนของเส้นใยในขนาดที่ยาวกว่า และยังพบว่ามีแนวโน้มการลดลงของความถี่จำนวนเส้นใยจากเส้นใยที่สั้นไปจนถึงเส้นใยที่ยาว แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่าง S10 มีเส้นใยที่สั้นอยู่ในระบบเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน แต่ก็ยังมีจำนวนน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ

4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ

นำเยื่อผสมที่เตรียมในแต่ละตัวอย่างมาขึ้นแผ่นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร โดยกำหนดสัญลักษณ์ของตัวอย่างแผ่นทดสอบเหมือนกันกับตัวอย่างเยื่อในแต่ละอัตราส่วนผสม จากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติของแผ่นทดสอบทั้งหมดดังนี้

4.1.3.1 สมบัติทางโครงสร้าง

สมบัติด้านโครงสร้างที่ทำการทดสอบได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความหนาแน่นปรากฏ และความต้านอากาศ ตามตารางที่ 4-3 พบว่าแผ่นทดสอบผลิตได้น้ำหนักมาตรฐานตามที่กำหนด สำหรับความหนาพบว่าค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทดสอบ 3 ชนิด คือ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติจะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 เท่านั้น

ตารางที่ 4-3 สมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ			
		H10	H7S3	H5S5	S10
น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight)	g/m ²	80.03±0.68	80.66±0.23	81.20±0.69	80.30±0.09
ความหนา (Thickness)	µm	124±3	126±2	122±4	113±4
ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent index)	kg/m ³	648±11	642±9	661±9	706±25
ความต้านอากาศ (Air resistance)	s	12.13±0.28	15.45±0.22	29.62±2.22	157.52±23.85

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบ พบว่าแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 มีค่าความหนาแน่นปรากฏที่สูงกว่าแผ่นทดสอบ 3 ชนิดแรก ซึ่งโดยปกติแล้วเส้นใยที่สั้นจะให้แผ่นกระดาษที่มีความหนาแน่นสูงกว่าเส้นใยที่ยาว แต่อาจเป็นไปได้ว่าเส้นใยจากเยื่อ S10 ที่เป็นเยื่อใยยาวล้วนนั้นสามารถยุบตัวได้มาก จึงทำให้แผ่นทดสอบ S10 มีความหนาแน่นสูงกว่าตัวอย่างอื่น หรืออาจเป็นเพราะว่าในระบบมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (Fine percent) อยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏสูง ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยตามภาพที่ 4-6 (ง) และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปได้ในลักษณะเดียวกันกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของแผ่นทดสอบเนื่องจากเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กัน

พิจารณาความต้านทานอากาศซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านทานการไหลผ่านของอากาศตามช่องว่างในโครงสร้างของกระดาษ พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานอากาศของแผ่นทดสอบ S10 มีค่าสูงสุดแตกต่างจากแผ่นทดสอบ 3 ชนิดแรกอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าเฉลี่ยความต้านทานอากาศรองลงมาคือแผ่นทดสอบ H5S5 ส่วนแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 มีค่าต่ำสุดที่ใกล้เคียงกัน

ทั้งนี้การที่ค่าเฉลี่ยความต้านทานอากาศของแผ่นทดสอบ S10 ที่ผลิตได้จากเยื่อใยยาวล้วนมีค่าสูงนั้น อาจเป็นผลมาจากการที่ในระบบมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก จึงส่งผลทำให้เกิดการลดช่องว่างภายในแผ่นทดสอบ ทำให้แผ่นทดสอบมีความหนาแน่นสูง อากาศจึงไหลผ่านได้ช้า เป็นผลให้ความต้านทานอากาศสูง ในส่วนของการทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H10 กับ H7S3 เท่านั้น ในขณะที่แผ่นทดสอบคู่อื่นๆ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.3.2 สมบัติเชิงกล

สำหรับสมบัติเชิงกลที่ทำการทดสอบได้แก่ ดัชนีความต้านแรงฉีก (Tear index) และดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index) จากตารางที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความต้านแรงฉีกของแผ่นทดสอบแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อแผ่นทดสอบมีอัตราส่วนผสมของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากตามปกติเส้นใยยาวนั้นมีความแข็งแรงของเส้นใยที่สูงกว่าเส้นใยสั้น และเมื่อพิจารณาดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงพบว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงค่อนข้างมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของแผ่นทดสอบและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเยื่อใยยาวที่สูงขึ้น เนื่องเยื่อใยยาวสามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ดีกว่าเส้นใยสั้น จึงทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า สำหรับแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความ

แข็งแรงต่อแรงดึงค่อนข้างใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะอัตราส่วนผสมของเยื่อใยวยังอยู่ในระดับที่น้อย เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H10 กับ H7S3 เท่านั้น ในขณะที่แผ่นทดสอบคู่อื่นๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-4 สมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ			
		H10	H7S3	H5S5	S10
ดัชนีความต้านแรงฉีก (Tear index)	mN•m ² /g	5.99±0.10	9.24±0.31	10.77±0.64	12.55±0.76
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index)	Nm/g	42.64±0.75	45.41±0.18	50.89±1.08	69.08±2.14

4.1.3.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของแผ่นทดสอบจะเกี่ยวข้องกับลักษณะโดยทั่วไปของกระดาษที่ปรากฏสู่สายตา โดยค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความขาว (CIE Whiteness) ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ค่าสี (CIELAB Value) และความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°)

ตารางที่ 4-5 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ			
		H10	H7S3	H5S5	S10
ความขาว (CIE Whiteness)	%	61.09±0.67	61.47±0.48	56.24±1.00	53.03±0.61
ความขาวสว่าง (Brightness)	%	79.93±0.18	80.40±0.23	78.11±0.47	76.67±0.19
ความทึบแสง (Opacity)	%	90.05±0.06	88.13±0.08	86.56±0.52	77.76±0.44
ค่าสี (CIELAB Value)					
วิธีการวัดแบบ D/8°, D65, 10°	(L*)	94.72±0.01	94.94±0.06	94.37±0.16	93.97±0.04
	(a*)	0.47±0.03	0.41±0.03	0.71±0.09	0.79±0.06
	(b*)	5.70±0.14	5.73±0.07	6.56±0.17	7.04±0.13
วิธีการวัดแบบ 0°/45°, D50, 2°, White Backing, No filter	(L*)	94.59±0.03	94.65±0.03	94.23±0.08	93.51±0.13
	(a*)	-0.17±0.04	-0.29±0.05	-0.24±0.04	-0.43±0.04
	(b*)	4.63±0.08	4.35±0.08	4.87±0.03	4.67±0.12
ความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°)	GU	6.0±0.1	6.5±0.1	6.9±0.2	7.2±0.2

พิจารณาจากตารางที่ 4-5 จะสังเกตเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 มีค่าที่สูงใกล้เคียงกัน รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H5S5 และ S10 ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากความขาวแรกเริ่มของเยื่อ 2 ชนิดที่นำมาทดลองต่างกัน ในส่วนของความขาวสว่างซึ่งเป็นการวัดค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความขาวสว่างมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับค่าเฉลี่ยความขาวของแผ่นทดสอบ แต่ค่าที่วัดได้นั้นใกล้เคียงกัน โดยแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 มีค่าที่สูงใกล้เคียงกัน รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H5S5 และ S10 ตามลำดับ ในส่วนของค่าเฉลี่ยความทึบแสงของแผ่นทดสอบมีค่าลดลงตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้น เนื่องจากการที่กระดาษมีความหนาแน่นสูงจะเป็นการลดช่องว่างของอากาศภายในเนื้อกระดาษ จึงส่งผลให้การกระเจิงแสงภายในกระดาษลดลง ความทึบแสงจึงลดลง

ในส่วนของค่าสี (CIELAB Value) ที่ตรวจวัดค่านั้น โดยทั่วไปสามารถใช้วิธีการวัดได้ 2 แบบ โดยแบบแรก (D/8°, D65, 10°) จะเป็นการวัดค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษ ตามวิธีมาตรฐาน ISO 5631-2:2008 และแบบที่ 2 (0°/45°, D50, 2°) จะเป็นการวัดค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์ตามวิธีมาตรฐาน ISO 13656:2000 พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างค่าสีของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยสั้นล้วนและเยื่อใยยาวล้วนซึ่งอาจเกิดจากสีของเยื่อแผ่นแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกันก่อนนำมาทดลอง โดยเยื่อใยยาวมีสีออกเหลืองและขาวน้อยกว่าเยื่อใยสั้น แต่อย่างไรก็ตามในการวัดค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบหลังจากทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์แต่ละประเภทนั้น จะทำการวัดค่าที่สัมพันธ์กับความขาวของแผ่นทดสอบแต่ละชนิด (Relative white base, paper white base) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบเฉพาะความสามารถในการรับหมึกของกระดาษได้โดยไม่มีค่าสีของกระดาษมารบกวนในการวัด โดยจะวัดค่าตามวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์

สำหรับค่าเฉลี่ยความมันวาวเมื่อวัดค่าที่มุม 75 องศา พบว่ามีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่จะพบแนวโน้มของค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นในแผ่นทดสอบมีผลต่อการสะท้อนแสงที่สูงขึ้นเมื่อวัดค่าที่มุม 75 องศา อาจมีความเป็นไปได้ว่าเนื่องจากเยื่อใยยาวมีความยาวและความกว้างของเส้นใยที่มากกว่าเยื่อใยสั้นอย่างเห็นได้ชัดตามตารางที่ 4-2 จึงทำให้แผ่นทดสอบมีความสามารถในการสะท้อนแสงบนพื้นผิวในแบบการสะท้อนตรง (Specular reflection) ได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา มีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวในแผ่นทดสอบที่สูงขึ้น

4.1.3.4 สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน

สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานที่ทำการทดสอบได้แก่ การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที (Cobb 60) การพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration) เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 4-6 พบว่าแผ่นทดสอบ ทั้ง 4 ชนิด มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประมาณ 18 กรัมต่อตารางเมตร ในส่วนของการพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration) พบว่าแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 นั้นมีค่าการพิมพ์ซึมผ่านที่สูงในระดับที่ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือแผ่นทดสอบ S10 และ H5S5 ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและเมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างคู่ของแผ่นทดสอบ H10 กับ H7S3 และคู่ H5S5 กับ S10 เท่านั้น ทั้งนี้แผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 ยอมให้หยดหมึกซึมผ่านได้ดีกว่าแผ่นทดสอบ S10 และ H5S5 อาจเป็นผลจากการที่แผ่นทดสอบ S10 และ H5S5 มีความหนาแน่นของแผ่นทดสอบที่สูงและความพรุนต่ำ (ความต้านทานอากาศสูง) เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่เป็นฐานน้ำมันจะไหลตามช่องว่างหรือรูพรุนของแผ่นทดสอบจึงไม่สามารถซึมผ่านรูพรุนของแผ่นทดสอบได้เร็ว ในขณะที่การทดสอบการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที น้ำจะซึมผ่านเส้นใยและรูพรุนของแผ่นทดสอบได้โดยตรงจึงให้แนวโน้มของผลการทดสอบที่ต่างกัน

ตารางที่ 4-6 สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ			
		H10	H7S3	H5S5	S10
การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที (Cobb 60)	g/m ²	18.4±0.2	17.7±0.1	18.5±0.1	18.0±0.4
การพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration)	m ⁻¹	30.16±0.69	29.57±0.67	26.44±0.72	27.40±0.38

4.1.3.5 สมบัติด้านพื้นผิว

สมบัติด้านพื้นผิวที่ทำการทดสอบได้แก่ ความเรียบ (Smoothness) และความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength) ตามตารางที่ 4-7 พบว่าค่าเฉลี่ยความเรียบของแผ่นทดสอบ 3 ชนิด คือ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 มีค่าเฉลี่ยความเรียบของแผ่นทดสอบต่ำสุดอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลจากความยาวและความกว้างของเส้นใยที่สูง เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5

ตารางที่ 4-7 สมบัติด้านพื้นผิวของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ			
		H10	H7S3	H5S5	S10
ความเรียบ (Bekk Smoothness)	s	15.0±1.3	14.9±1.3	14.5±0.9	7.1±0.6
ความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength)	N/m	42.93±2.81	46.00±1.84	63.11±4.50	77.73±4.62

ในส่วนของความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบจะมีค่าค่อนข้างแตกต่างกัน โดยแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่แผ่นทดสอบ H7S3 จะมีค่าสูงกว่า H10 เล็กน้อย ในขณะที่แผ่นทดสอบ H5S5 และ S10 จะมีค่าสูงกว่าอย่างเด่นชัด โดยแผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าที่สูงกว่า H5S5 ซึ่งลักษณะแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นไปตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเยื่อใยยาวจะทำให้เกิดพันธะระหว่างเส้นใยที่ตึกกว่าเยื่อใยสั้น ผิวหน้าของแผ่นทดสอบจึงแข็งแรงกว่าเมื่อสัดส่วนของเยื่อใยยาวเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H10 กับ H7S3 เท่านั้น ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบระหว่างคู่อื่นๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

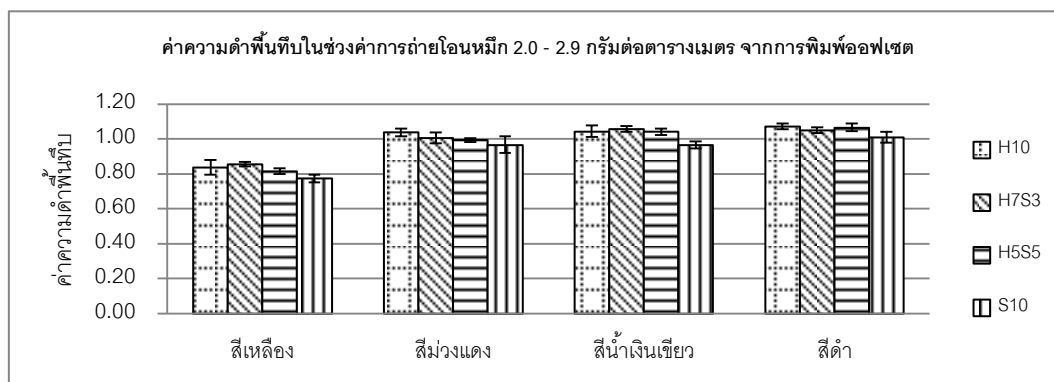
4.1.4 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์ออฟเซต

ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์ออฟเซตนั้นจะทำการทดสอบพิมพ์กับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT AIC2-5T2000 โดยใช้หมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพืช พิมพ์ให้ได้ค่าการถ่ายโอนหมึกที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ในช่วง 2.0–2.9 และ 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นการพิมพ์โดยปล่อยหมึกให้ได้ชั้นความหนาของหมึกพิมพ์แบบหนาและแบบบาง ตามลำดับ โดยใช้ลูกกลิ้งทดสอบการพิมพ์แบบผ้าฝ้าย (Blanket printing disc) ลักษณะงานที่พิมพ์เป็นแบบพื้นทึบ (Solid)

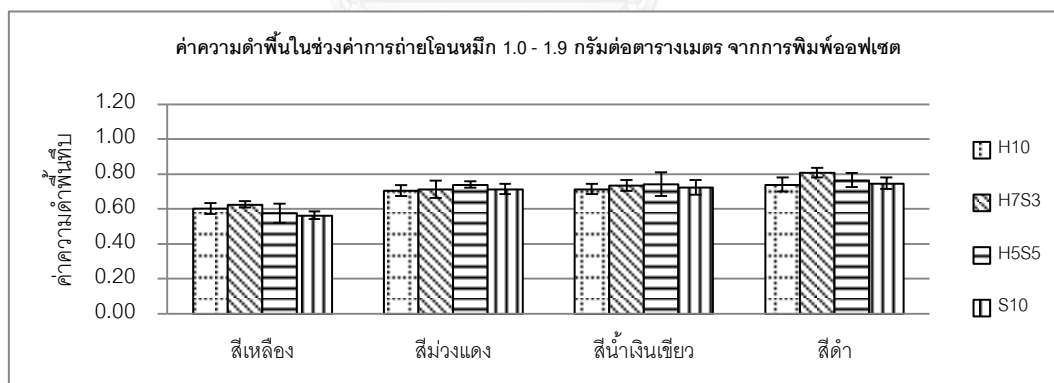
4.1.4.1 ค่าความดำพื้นทึบ

จากภาพที่ 4-2 ทดสอบพิมพ์หมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพืชชุดสอดี 4 สี ในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 และ 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร กับแผ่นทดสอบแต่ละชนิด ซึ่งให้ความหนาและค่าความดำพื้นทึบของชั้นหมึกพิมพ์ที่มากและน้อย ตามลำดับ พบว่าค่าความดำพื้นทึบในแต่ละสีบนแผ่นทดสอบนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสีของหมึกพิมพ์

จากการหมักพืชมัฟอพเซตที่พิมพ์ในช่วงค่าการถ่ายโอนหมัก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์ของหมักพิมพ์สีเหลืองบนแผ่นทดสอบ H7S3 จะมีค่าสูงสุด ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์ของหมักพิมพ์สีม่วงแดงบนแผ่นทดสอบ H10 จะมีค่าสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาแผ่นทดสอบ H7S3 ที่เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์ของหมักพิมพ์สีม่วงแดง 2 ค่าระหว่างแผ่นทดสอบ H7S3 กับแผ่นทดสอบอื่นๆ จะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์ของหมักพิมพ์สีน้ำเงินเขียวและสีดำจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์บนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าที่สูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์บนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-2 ค่าความดำพื้นที่พิมพ์จากการพิมพ์อพเซตในการทดลองตอนที่ 1 ช่วงค่าการถ่ายโอนหมัก (ก) 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร (ข) 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร

พิจารณาที่ค่าการถ่ายโอนหมักในช่วง 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์ของหมักพิมพ์สีเหลืองบนแผ่นทดสอบ H7S3 จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ H10 ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่พิมพ์ของหมักพิมพ์สีม่วงแดงและหมักพิมพ์สีน้ำเงินเขียวบนแผ่น

ทดสอบทั้ง 4 ชนิดนั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกันและไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และใน ส่วนของ ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีด้าบนแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด ซึ่งผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 แผ่นทดสอบที่มีค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1

ระดับการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีด้า
2.0-2.9	H7S3	H10	H7S3 ⁽¹⁾	H10, H5S5 ⁽¹⁾
1.0-1.9	H7S3	H5S5 ⁽²⁾	H5S5 ⁽²⁾	H7S3

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
(2) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทั้งนี้สามารถสังเกตเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบ S10 จะให้ค่าความด้าพื้นที่บที่ต่ำสุดในช่วงการถ่ายโอนหมึกทั้ง 2 ระดับ เนื่องจากเส้นใยยาวมีความกว้างและความยาวของเส้นใยที่มากกว่าเส้นใยสั้นจึงทำให้หมึกพิมพ์สามารถไหลไปตามร่องและรูพรุนระหว่างเส้นใยที่สานกันจึงทำให้ไม่สามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่ผิวหน้าได้ดี ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความเรียบของแผ่นทดสอบ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงสมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-3 พบว่าความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบ S10 มีค่าสูงสุด ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่ารองลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกัน และใน ส่วนของสมบัติความต้านอากาศจะสังเกตเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบ S10 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ซึ่งแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าที่ต่ำกว่าแต่อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในการบดเยื่อใยยาวจะใช้เวลาในการบดมากกว่าเยื่อใยสั้นเพื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำตามที่กำหนด จึงส่งผลให้เส้นใยยุบตัวมากกว่า แผ่นทดสอบจึงแน่นและต้านอากาศมากกว่าปกติ แต่เนื่องจากเส้นใยยาวนั้นใหญ่และหยาบมากจึงทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่และความเรียบต่ำ แสดงว่ารูพรุนขนาดใหญ่จำนวนน้อยอาจจะต้านอากาศได้มากกว่ารูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งตามปกติแล้วการที่กระดาษมีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้ความต้านอากาศสูงและมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของไขมันหรือน้ำมันได้ดี แต่จากผลของค่าความด้าพื้นที่บของหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพีซีด้าบนแผ่นทดสอบตามภาพที่ 4-2 นั้น ไม่ได้ปรากฏผลที่ให้ค่าความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบอื่นๆ แสดงว่าสมบัติความเรียบของแผ่นทดสอบมีอิทธิพลต่อค่าความด้าพื้นที่บมากกว่าความต้านอากาศ

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพีชชูดสอดี 4 สี ที่พิมพ์ให้ได้ค่าการถ่ายโอนหมึกทั้ง 2 ระดับนั้น จะไม่พบแนวโน้มที่เด่นชัดที่สุดในทุกสีที่บ่งบอกถึงสภาพพิมพ์ได้ดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของแต่ละแผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ตามตารางที่ 4-8 สามารถสังเกตเห็นได้ว่า แผ่นทดสอบ H7S3 มีความถี่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบที่สูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ทั้ง 2 ระดับของค่าการถ่ายโอนหมึก รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H5S5 ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ว่าอัตราส่วนผสมของเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่ 70:30 ที่ใช้ในการผลิตแผ่นทดสอบ H7S3 มีความเหมาะสมมากที่สุดในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต

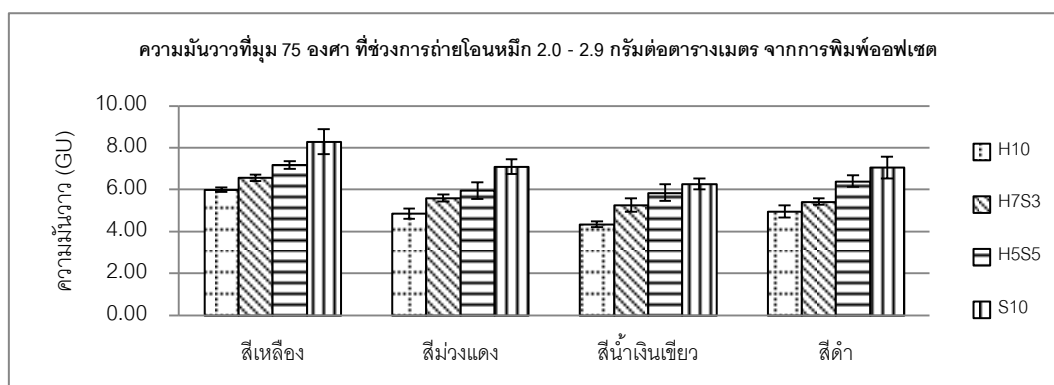
4.1.4.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา

จากภาพที่ 4-3 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์ในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร มีแนวโน้มแบบเดียวกันทั้งหมดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด คือ ค่าความมันวาวบนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ H5S5 H7S3 และ H10 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4-5 ค่าความมันวาวของแผ่นทดสอบก่อนพิมพ์ พบว่าเป็นไปในลักษณะเดียวกัน เมื่อแผ่นทดสอบถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซตซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ที่มีความโปร่งแสงสำหรับการพิมพ์สอดีจึงส่งผลให้แผ่นทดสอบมีค่าความมันวาวสูงขึ้นตามคุณลักษณะของแผ่นทดสอบ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความมันวาวในแต่ละสีกับชนิดของแผ่นทดสอบพบว่าแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด มีค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สีเหลืองสูงสุด ส่วนค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สีม่วงแดง สีน้ำเงินเขียว และสีดำ จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

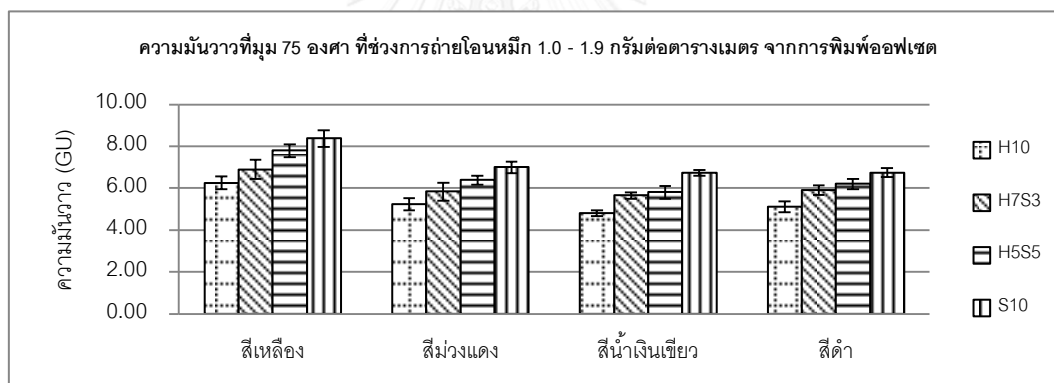
สำหรับค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์ที่ถูกพิมพ์ในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับการพิมพ์ในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร แต่จะมีค่าความมันวาวที่ต่ำกว่าเล็กน้อยเนื่องจากความหนาของชั้นหมึกพิมพ์นั้นบางกว่า และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความมันวาวในแต่ละสีกับชนิดของแผ่นทดสอบพบว่าแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดจะมีค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สีเหลืองสูงสุดเหมือนกัน ส่วนค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สีม่วงแดง สีน้ำเงินเขียว และสีดำ มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับสภาพเส้นใยในส่วนของความยาวและความกว้างของเส้นใยตามตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าเยื่อใยยาวมีความยาวและความกว้างของเส้นใยที่มากกว่าเยื่อใยสั้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นแผ่นทดสอบที่มีสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่สูงขึ้น จะส่งผลให้พื้นผิวของแผ่นทดสอบสามารถสะท้อนแสงในแบบการสะท้อนตรง (Specular reflection) ได้มากขึ้น ค่าความมันวาวจึง

สูงขึ้นตาม ในขณะที่เยื่อใยสั้นมีความยาวและความกว้างของเส้นใยที่น้อยกว่าจะส่งผลให้พื้นผิวของแผ่นทดสอบสามารถสะท้อนแสงในแบบการสะท้อนกระจาย (Diffuse reflection) ได้มากกว่า ค่าความมันวาวจึงลดลงตามสัดส่วนของเยื่อใยสั้นในแผ่นทดสอบที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าความหนาของชั้นหมึกพิมพ์นั้นยังไม่มากพอที่จะบดบังอิทธิพลของลักษณะผิวหน้าแผ่นทดสอบให้เหลือแต่ความมันวาวที่มาจากหมึกพิมพ์เท่านั้น



(ก)



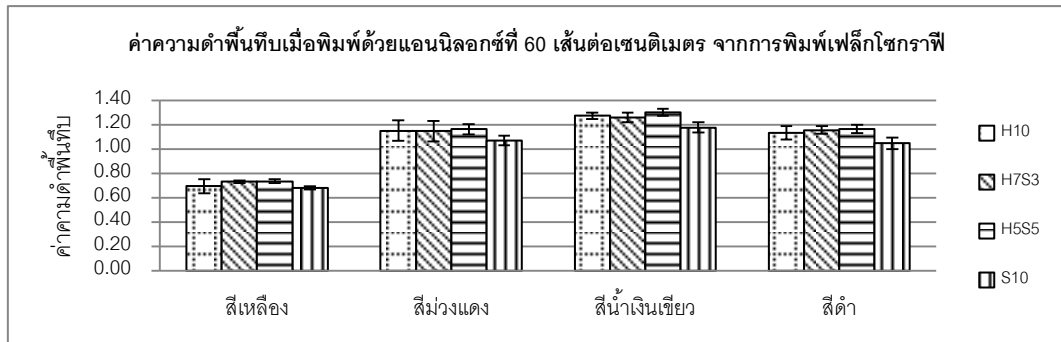
(ข)

ภาพที่ 4-3 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1 ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (ก) 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร (ข) 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร

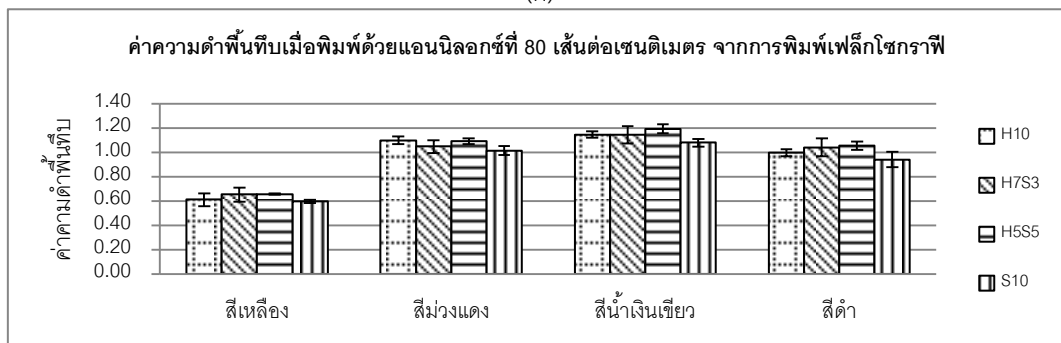
4.1.5 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำนั้นจะทำการทดสอบพิมพ์กับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1 ที่ขนาดความละเอียดของแอนิลอกซ์ 4 ระดับ ได้แก่ 60 80 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร โดยลักษณะงานพิมพ์ที่ได้จะเป็นแบบพื้นทึบ (Solid) ทั้งหมด ได้ผลการทดลองดังนี้

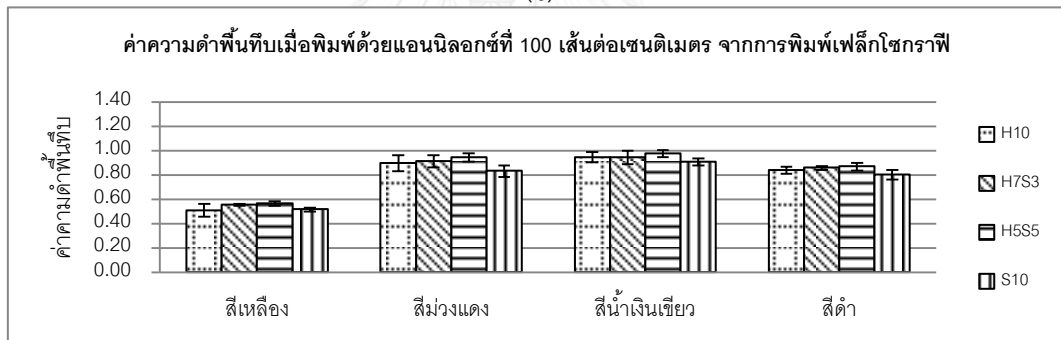
4.1.5.1 ความดำพื้นทึบ



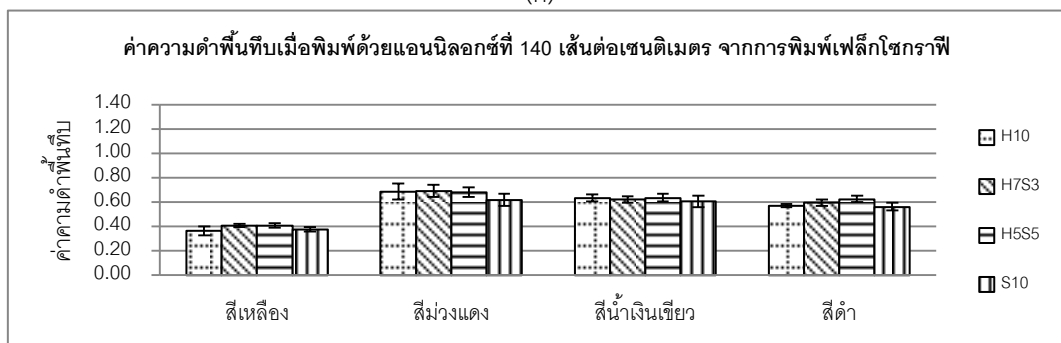
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4-4 ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1 เมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่ความละเอียด (ก) 60 (ข) 80 (ค) 100 (ง) 140 เส้นต่อเซนติเมตร

จากภาพที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานบนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าที่ต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในทุกสปีและทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์ที่ใช้ ในขณะที่แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 นั้น มีค่าที่สูงในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาในแต่ละสปีพบว่าหมึกพิมพ์สีเหลืองจะมีค่าความต้านทานที่ต่ำที่สุด ในขณะที่หมึกพิมพ์สีอื่นๆ มีค่าในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมจะพบว่าแผ่นทดสอบที่เป็นเยื่อผสมคือ H7S3 และ H5S5 นั้น จะมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความต้านทานในทุกสปีและทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์ที่ใช้สูงที่สุด โดยการผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวเข้าด้วยกันอาจช่วยปิดร่องหรือรูพรุนที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้มากกว่าการใช้เยื่อชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว จึงอาจช่วยให้หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบที่เป็นเยื่อผสมได้ดีกว่า ทั้งนี้การพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานร่วมกับสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยและแผ่นทดสอบนั้นไม่ปรากฏความสัมพันธ์ที่เด่นชัด ทั้งนี้สามารถสรุปลักษณะของแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความต้านทานบนแผ่นทดสอบที่คล้ายกันเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลอกซ์ทั้ง 4 ความละเอียด ในแต่ละสปีของหมึกพิมพ์ได้ดังนี้

- 1) ค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีเหลืองบนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าสูงกว่า H10 และ S10 เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีเหลืองบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ H7S3 กับ H5S5 และคู่ H10 กับ S10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- 2) ค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีค่าที่สูงกว่าแผ่นทดสอบ S10 เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงบนแผ่นทดสอบระหว่าง H10 H7S3 และ H5S5 นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- 3) ค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวบนแผ่นทดสอบ H5S5 จะมีค่าสูงสุดรองลงมาคือ แผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ H10 กับ H7S3 เท่านั้น
- 4) ค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบ H5S5 จะมีค่าสูงสุดรองลงมาคือแผ่นทดสอบ H7S3 H10 และ S10 ตามลำดับ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าของค่าเฉลี่ยความต้านทานหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ H10 กับ H7S3 และคู่ H7S3 กับ H5S5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากลักษณะของแนวโน้มที่ปรากฏโดยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจมีความแตกต่างบ้างเล็กน้อยในแต่ละสี เช่นในหมึกพิมพ์สีเหลืองแผ่นทดสอบ H10 กับ S10 ให้ค่าใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังน้อยกว่าแผ่นทดสอบ H7S3 กับ H5S5 ซึ่งอาจเกิดจากผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นทดสอบกับหมึกพิมพ์แต่ละสี

เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4-6 สมบัติการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที พบว่าแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่สำหรับสมบัติการพิมพ์ซึมผ่านพบว่าแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 มีค่าการพิมพ์ซึมผ่านที่สูงในระดับที่ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H5S5 และ S10 ที่มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงว่าแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 มีความสามารถในการยอมให้หมึกพิมพ์ซึมผ่านได้ดีกว่าแผ่นทดสอบ H5S5 และ S10 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงสมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานนั้นไม่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับผลของค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมบัติความเรียบน่าจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากกว่าเพราะให้แนวโน้มในลักษณะที่คล้ายกัน

ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ว่าการเติมสารด้านการซึมลงไปใต้น้ำเยื่อในขั้นตอนการผลิตแผ่นทดสอบไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานในแต่ละแผ่นทดสอบอย่างเด่นชัด เนื่องจากเติมสารด้านการซึม (AKD) ในระดับที่เท่ากันทั้งหมด การทดสอบพิมพ์กับหมึกพิมพ์ฐานน้ำที่พบว่าแผ่นทดสอบสามารถพิมพ์ได้ดีทั้งๆ ที่มีการเติมสารด้านการซึม (AKD) ซึ่งจะเปลี่ยนสมบัติเส้นใยกลายเป็นสภาพที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) นั้น อาจเป็นเพราะมีการเติมแป้งประจุบวกลงในน้ำเยื่อด้วยจึงทำให้แผ่นทดสอบที่ผลิตได้ยังมีความสามารถในการรับหมึกที่ดี เนื่องจากแป้งประจุบวกมีสภาพที่ชอบน้ำ อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยและเพิ่มความแข็งแรงที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้ด้วย

เมื่อพิจารณาค่าความดำพื้นทึบสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดในตารางที่ 4-9 พบว่ามีแนวโน้มบางอย่างที่คล้ายกันและเด่นชัดในแต่ละแผ่นทดสอบของหมึกพิมพ์ซึ่งปรากฏให้เห็นเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดง โดยการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีเหลืองที่ทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์บนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีม่วงแดงที่ทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์บนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-9 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1

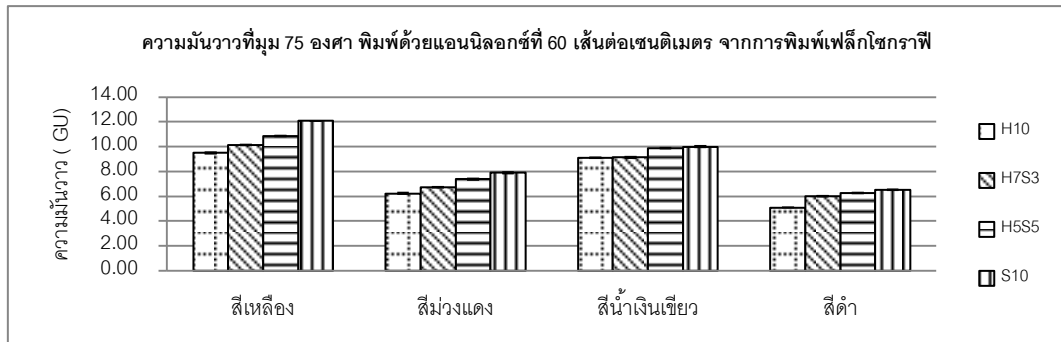
ความละเอียดของแอนนิลอกซ์ ที่ใช้พิมพ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
60	H7S3, H5S5 ⁽³⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾
80	H5S5 ⁽³⁾	H10 ⁽¹⁾	H5S5	H5S5 ⁽³⁾
100	H5S5 ⁽³⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾
140	H7S3, H5S5 ⁽³⁾	H10, H7S3 ⁽¹⁾	H10, H5S5 ⁽²⁾	H5S5 ⁽³⁾

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (2) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (3) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

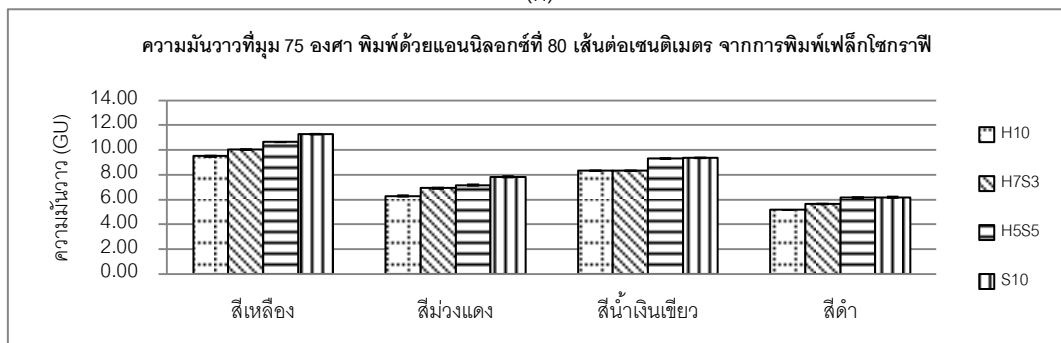
จากตารางที่ 4-9 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าแผ่นทดสอบ H5S5 นั้นให้ค่าความดำพื้นที่ที่สูงที่สุดในทุกสีของหมึกพิมพ์และทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์ที่ใช้พิมพ์ และแผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าความดำพื้นที่ที่สูงเมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบ H5S5 ได้โดยไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวที่พิมพ์ด้วยความละเอียดของแอนนิลอกซ์ 80 เส้นต่อเซนติเมตร ดังนั้นในการพิจารณาคัดเลือกอัตราส่วนผสมของเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวทั้งที่ 50:50 และ 70:30 นั้นมีความเหมาะสมสำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ซึ่งสันนิษฐานว่า อาจเป็นผลจากการที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบมีการกระจายตัวของรูพรุนอย่างสม่ำเสมอจากการผสมของเส้นใย

4.1.5.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา

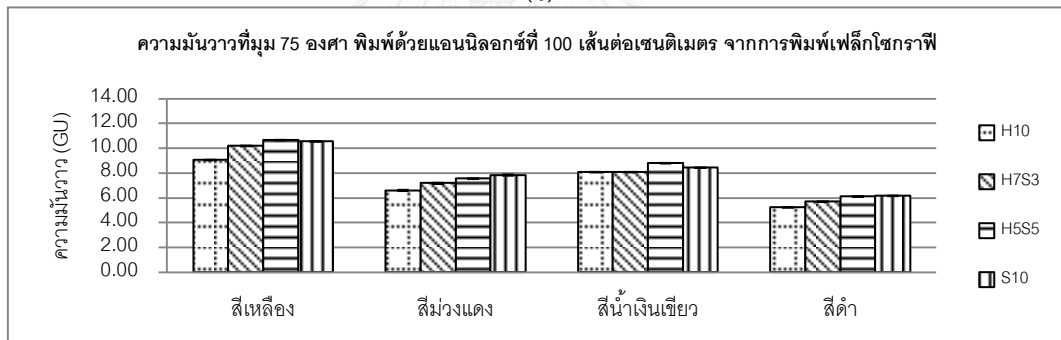
พิจารณาภาพที่ 4-5 พบว่าสีของหมึกพิมพ์ที่ให้ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศาสูงสุด คือ สีเหลือง รองลงมา คือ สีน้ำเงินเขียวและสีม่วงแดงที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และต่ำสุดคือสีดำ ตามลำดับ สำหรับค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบปรากฏแนวโน้มที่คล้ายกันกับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา บนแผ่นทดสอบที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพีซีที่พิมพ์ทั้ง 2 ช่วงของค่าการถ่ายโอนหมึก โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก คือ แผ่นทดสอบ H10 H7S3 H5S5 และ S10 แต่จะแตกต่างกันตรงค่าความมันวาวของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวบนแผ่นทดสอบ H10 และ H7S3 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถสังเกตเห็นแนวโน้มนี้ได้เด่นชัดเมื่อพิมพ์ด้วยแอนนิลอกซ์ที่ความละเอียดต่ำ เช่นที่ 60 80 และ 100 เส้นต่อเซนติเมตร



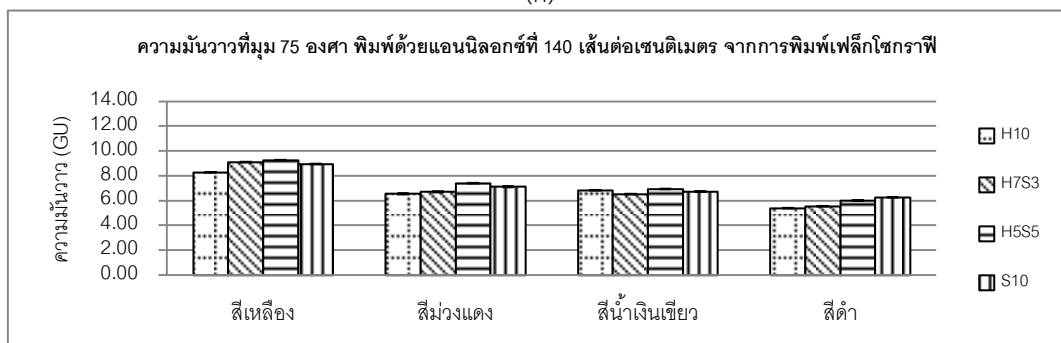
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4-5 ค่าความมั่นคงที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1 เมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่มีความละเอียด (ก) 60 (ข) 80 (ค) 100 (ง) 140 เส้นต่อเซนติเมตร

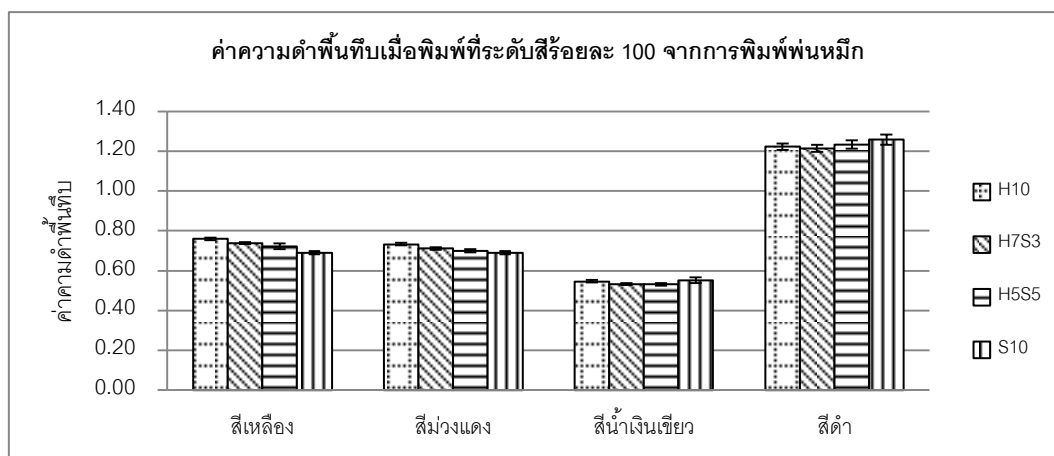
สำหรับการพิมพ์โดยใช้แอนนิลอกซ์ที่ความละเอียด 140 เส้นต่อเซนติเมตร นั้นให้ชั้นของหมึกพิมพ์ที่บาง ซึ่งอาจทำให้แผ่นทดสอบรับหมึกพิมพ์ได้ไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะกับแผ่นทดสอบ S10 ดังนั้นค่าความมั่นคงของค่าความแตกต่างเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการใช้แอนนิลอกซ์ที่ความละเอียด 60 80 และ 100 เส้นต่อเซนติเมตร จะค่อนข้างต่างกัน เนื่องจากปริมาณของหมึกพิมพ์ที่ถูกถ่ายโอนลงบนแผ่นทดสอบนั้นต่างกัน ซึ่งอาจทำให้ความสามารถในการสะท้อนแสงแบบตรงบนผิวหน้านั้นแตกต่างกัน

4.1.6 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์พ่นหมึก

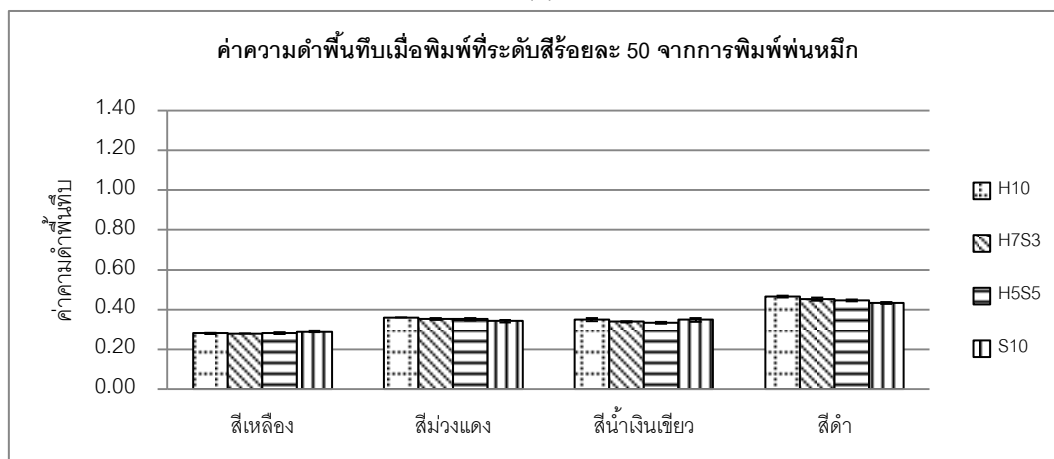
ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในขั้นตอนนี้จะทดสอบโดยใช้เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก Canon iPF6300 Printer ซึ่งมีลักษณะงานพิมพ์แบบพื้นที่ทั้งหมด โดยจะทำการพิมพ์ที่ระดับสี 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ทั้ง 4 สี ได้แก่ สีเหลือง สีม่วงแดง สีนํ้าเงินเขียว และสีดำ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.6.1 ความดำพื้นที่

ผลการทดสอบพบว่าค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์พ่นหมึกที่ระดับสีทั้ง 2 ระดับนั้น ให้ค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในแต่ละชนิดของแผ่นทดสอบ ในการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 กับแผ่นทดสอบ 4 ชนิดนั้น ตามภาพที่ 4-6 พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงปรากฏแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน คือ มีการเรียงลำดับของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากมากไปน้อยบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 H5S5 และ S10 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบทุกคู่ โดยที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแต่ละแผ่นทดสอบของทั้งหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงจะมีค่าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และในส่วนของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีนํ้าเงินเขียวบนแผ่นทดสอบ H10 และ S10 จะมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าอีกกลุ่มคือ H7S3 และ H5S5 ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน โดยจะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกลุ่ม สำหรับหมึกพิมพ์สีดำมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ S10 สูงที่สุด ในขณะที่แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 จะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำแบบพ่นหมึกบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดนี้ จะมีค่าที่สูงกว่าหมึกพิมพ์สีอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ค่าความเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนหมึกพิมพ์สีนํ้าเงินเขียวมีค่าต่ำสุด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-6 ค่าความดำพื้นทึบจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1
พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

สำหรับการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 50 ตามภาพที่ 4-6 พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในแต่ละสีมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก โดยค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบหมึกพิมพ์สีเหลืองบนแผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบชนิดอื่นๆ เล็กน้อย ส่วนค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบหมึกพิมพ์สีม่วงแดงบนแผ่นทดสอบ H10 จะมีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบชนิดอื่นๆ เล็กน้อย ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวบนแผ่นทดสอบ H10 และ S10 มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบในระดับที่ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบ H10 สูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ เล็กน้อย ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีดำแบบพ่นหมึกบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดนี้ มีค่าที่สูงกว่าหมึกพิมพ์สีอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับกับการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงและสีน้ำเงินเขียวมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนหมึกพิมพ์สีเหลืองมีค่าต่ำสุด

ในการแห้งตัวของหมึกพิมพ์พ่นหมึกนั้นจะเกิดการแห้งตัวด้วยการซึมและการระเหยของตัวทำละลาย โดยในการซึมของหมึกนั้นจะซึมลงจากผิวหน้าของกระดาษและมีการซึมไปตามเส้นใย (Lateral spreading) และตามโครงสร้างรูพรุนของกระดาษ (Capillary absorption) หากรูพรุนมีรัศมีของรูกว้างจะทำให้เกิดการซึมได้เร็ว ดังนั้นกระดาษต้องมีความสามารถในการดูดซึมหมึกได้ดีแต่ในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถคงหมึกให้อยู่บนผิวหน้าได้ ซึ่งตามปกติกระดาษที่ใช้สำหรับการพิมพ์พ่นหมึกโดยเฉพาะจะใช้กระดาษที่มีการเคลือบผิวเพื่อให้หมึกมีการซึมและคงอยู่บนเฉพาะชั้นสารเคลือบเท่านั้นและไม่แพร่ออกไปทางด้านข้างจึงจะให้ผลการพิมพ์ที่ดี เนื่องจากแผ่นทดสอบที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ใช่กระดาษประเภทเคลือบผิวดังนั้นปัจจัยที่สำคัญของแผ่นทดสอบ คือ ขนาดของรูพรุนและการกระจายตัวของรูพรุน เพื่อให้หยดหมึกคงอยู่บนผิวหน้าได้นั้นในการผลิตแผ่นทดสอบจึงจำเป็นต้องใส่สารต้านการซึม (Internal sizing) ซึ่งจะใส่ลงในน้ำเยื่อในระดับที่เท่ากันทั้งหมด เพื่อเปลี่ยนให้สมบัติเส้นใยกลายเป็นสภาพที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic)

ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะที่ไม่ได้มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน และค่อนข้างต่างกันในแต่ละสีและแต่ละชนิดของแผ่นทดสอบ อย่างไรก็ตามค่าความดำพื้นที่วัดได้นั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากความสามารถในการปกคลุมของชั้นหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดด้วยหมึกพิมพ์พ่นหมึกแต่ละสี

ตารางที่ 4-10 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงที่สุดจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงที่สุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
100	H10	H10	H10, S10 ⁽⁴⁾	S10
50	S10	H10	H10, S10 ⁽⁴⁾	H10

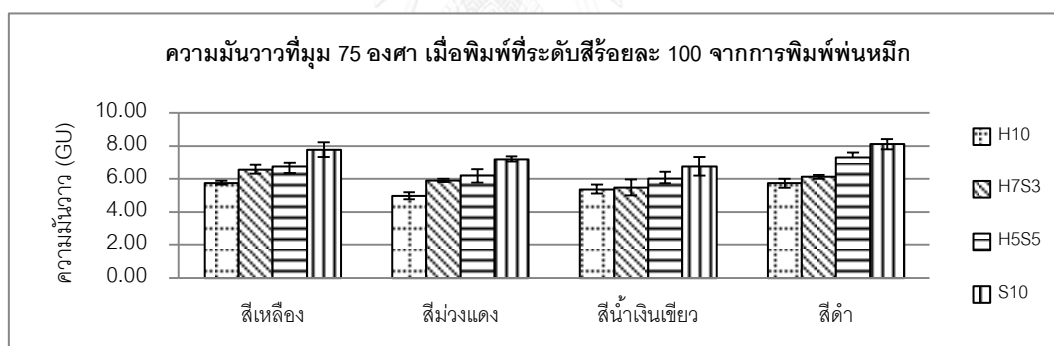
- หมายเหตุ
- (1) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 - (2) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 - (3) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 - (4) ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H10 และ S10 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4-10 แสดงค่าความดำพื้นที่สูงที่สุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ พบว่าแผ่นทดสอบ H10 ให้ค่าความดำพื้นที่ที่สูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในทุกสีและทุกระดับการพิมพ์ ดังนั้นการพิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมของเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่ 100:0 มีความเหมาะสมสำหรับการพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์พ่นหมึก อย่างไรก็ตามการพิมพ์ที่ระดับสี 2 ระดับนี้ จะให้ค่าความดำพื้นที่บน

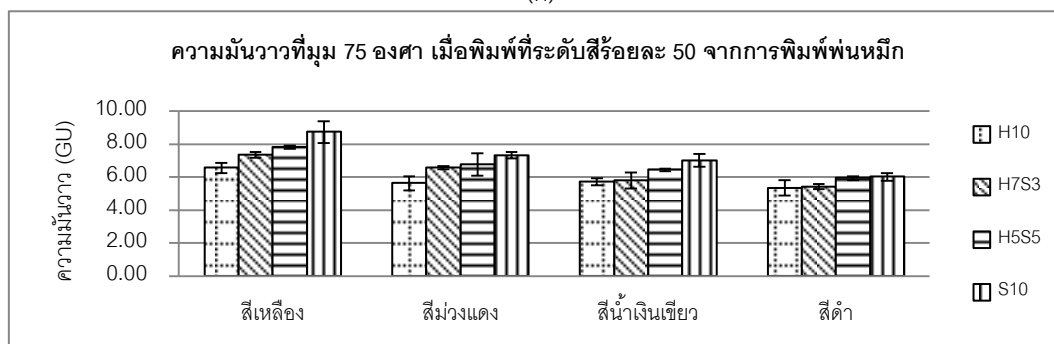
แผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในระดับที่ใกล้เคียงกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลในกระบวนการพิมพ์อื่นๆ

4.1.6.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา

ภาพที่ 4-7 แสดงค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกบนแผ่นทดสอบที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิด อีกทั้งยังพบว่ามีแนวโน้มการเรียงลำดับของค่าความมันวาวในลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับที่พบในหมึกพิมพ์ออฟเซตและหมึกพิมพ์เพลกโซกราฟี โดยค่าความมันวาวบนแผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ H5S5 H7S3 และ H10 ตามลำดับ ยกเว้นหมึกพิมพ์สีดำที่ระดับสีร้อยละ 50 ซึ่งแผ่นทดสอบระหว่างคู่ H10 กับ H7S3 และคู่ H5S5 กับ S10 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความมันวาวของแผ่นทดสอบแต่ละชนิดก่อนพิมพ์ที่มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันตามตารางที่ 4-5 โดยแผ่นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสมของเยื่อใยยาวสูงจะมีค่าความมันวาวสูงแปรผันตามกัน ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่เยื่อใยยาวมีความกว้างของเส้นใยที่มากตามตารางที่ 4-2 จึงอาจมีความสามารถในการสะท้อนตรงที่สูงกว่าอัตราส่วนผสมของเยื่อใยในระดับอื่นๆ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไม่แปรผันตามสมบัติความเรียบของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-7 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 1 พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

4.1.7 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี

ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในขั้นตอนนี้จะทดสอบโดยใช้เครื่องถ่ายสำเนา FUJI XEROX Document Centre C450 ซึ่งเป็นการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีที่ใช้หมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์ (Toner) โดยมีลักษณะงานพิมพ์แบบพื้นทึบ (Solid) ทั้งหมด ในการทดสอบพิมพ์จะทำการพิมพ์ที่ระดับสี 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ทั้ง 4 สี ได้แก่ สีเหลือง สีม่วงแดง สีนํ้าเงินเขียว และสีดำ ได้ผลการทดลองดังนี้

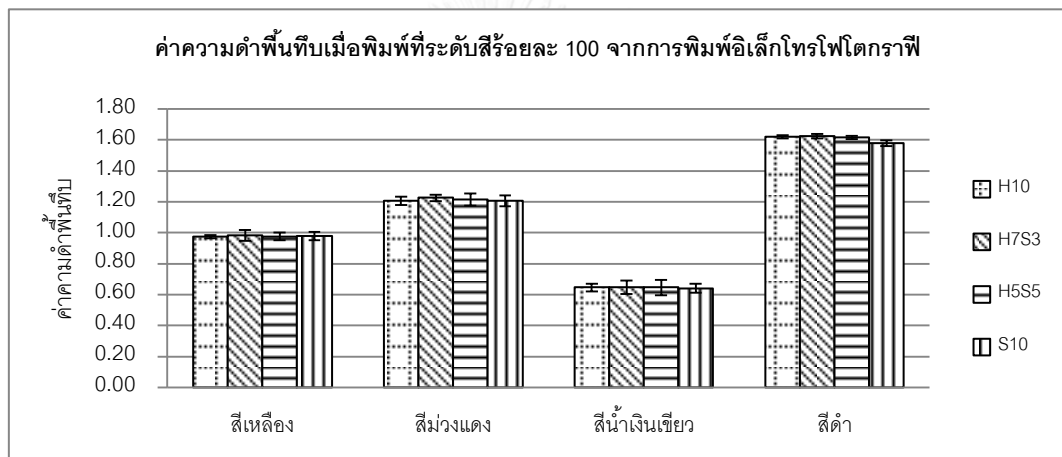
4.1.7.1 ความดำพื้นทึบ

พิจารณาจากภาพที่ 4-8 พบว่าทั้งการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 จะให้ผลของค่าความดำพื้นทึบที่ค่อนข้างแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสี แต่ค่าความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบในแต่ละสีนั้นจะใกล้เคียงกันเป็นอย่างมากซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

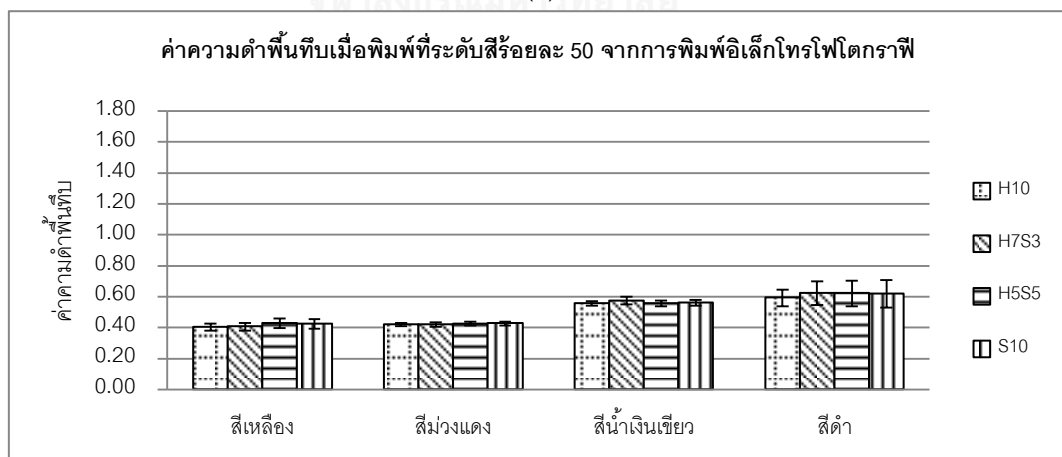
ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์เมื่อทดสอบสภาพพิมพ์ได้ที่ระดับสีร้อยละ 100 พบว่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก โดยค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีเหลือง สีม่วงแดง และสีนํ้าเงินเขียว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่หมึกพิมพ์สีดำมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่บนแผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบที่มีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบชนิดอื่นๆ เล็กน้อย ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าที่ใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบค่าความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบในทุกสีพบว่าหมึกพิมพ์สีดำมีค่าความดำพื้นทึบที่สูงสุด รองลงมาคือหมึกพิมพ์สีม่วงแดง สีเหลือง และสีนํ้าเงินเขียว ตามลำดับ ส่วนการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 50 พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ทั้ง 4 สี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบค่าความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบในทุกสีจะพบว่าหมึกพิมพ์สีดำมีค่าความดำพื้นทึบที่สูงสุด รองลงมาคือหมึกพิมพ์สีนํ้าเงินเขียว ส่วนหมึกพิมพ์สีม่วงแดงและสีเหลืองมีค่าต่ำสุดโดยมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของค่าความดำพื้นทึบร่วมกับความต้านอากาศของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-3 ซึ่งตามปกติการที่แผ่นทดสอบมีความต้านอากาศของแผ่นทดสอบสูงนั้น แสดงว่าแผ่นทดสอบนี้มีความพรุนต่ำ โดยส่งผลให้แผ่นทดสอบมีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นและสามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น เนื่องจากสมบัติความพรุนนั้นมีอิทธิพลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) รวมถึงความหนาแน่นก็มีอิทธิพลต่อค่าคงที่นี้ด้วยเช่นกัน ซึ่งพบว่าแผ่นทดสอบ S10 นั้น มี

ค่าความหนาแน่นและความต้านอากาศของแผ่นทดสอบที่สูงกว่าแผ่นทดสอบชนิดอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ตามปกติแล้วการที่กระดาษมีความพรุนต่ำและความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้ค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์มีค่าสูงขึ้น กระดาษจึงสามารถเก็บประจุได้ดีซึ่งจะช่วยให้หมึกพิมพ์โทนเนอร์สามารถถ่ายโอนได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์โทนเนอร์สีดำนบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับสีร้อยละ 100 พบว่ามีเพียงทดสอบ S10 ที่มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ต่ำสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แผ่นทดสอบชนิดอื่นๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกันและไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอาจสันนิษฐานได้ว่านอกเหนือจากสมบัติความต้านอากาศและความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบแล้ว สมบัติความเรียบก็อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์ได้ด้วยเช่นกัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-8 ค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิในการทดลองตอนที่ 1
พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

ตารางที่ 4-11 แผ่นทดสอบที่มีค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี
ในการทดลองตอนที่ 1

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
100	เท่ากันทั้งหมด ⁽²⁾	H7S3 ⁽²⁾	H10, H7S3, H5S5 ⁽²⁾	H10, H7S3, H5S5
50	H5S5 ⁽²⁾	H5S5, S10 ⁽²⁾	H7S3 ⁽²⁾	H7S3, H5S5, S10 ⁽²⁾

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
(2) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
(3) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
(4) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบ H10 และ S10 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4-11 พบว่าส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละสีที่ทั้ง 2 ระดับ เนื่องจากหมึกพิมพ์โทนเนอร์ที่ถูกพิมพ์มีความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่สูง จึงอาจทำให้คุณลักษณะของแผ่นทดสอบไม่มีผลต่อค่าความด้าพื้นที่บ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีดำที่ระดับร้อยละ 100 บนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บบนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบชนิดอื่นๆ เล็กน้อย ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีดำที่ระดับร้อยละ 50 บนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ค่าความด้าพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีดำที่ระดับที่ร้อยละ 50 บนแผ่นทดสอบ S10 มีความแปรปรวนสูงกว่าที่ระดับร้อยละ 100 และมากกว่าหมึกพิมพ์สีอื่นๆ อาจเป็นไปได้ว่าหมึกพิมพ์สีดำไม่สามารถสร้างชั้นของหมึกพิมพ์ได้สม่ำเสมอที่ระดับที่ร้อยละ 50 แต่เมื่อมีการพิมพ์หมึกพิมพ์สีดำที่หนาขึ้นที่ระดับร้อยละ 100 ความแปรปรวนของค่าความด้าพื้นที่บจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวทำให้สามารถพิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมของเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟีได้ในทุกอัตราส่วน ยกเว้นแผ่นทดสอบ S10 สำหรับการพิมพ์หมึกพิมพ์สีดำที่ระดับร้อยละ 100

4.1.7.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา

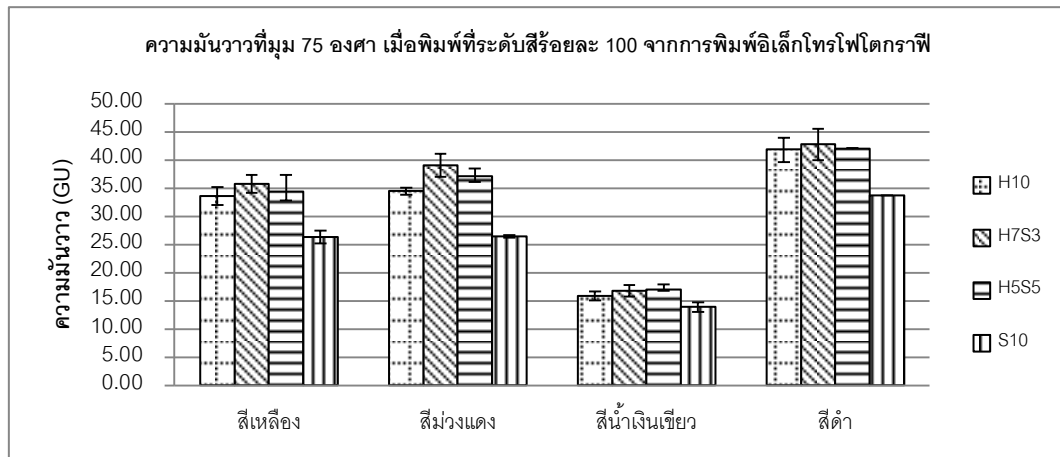
ภาพที่ 4-9 แสดงค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟีซึ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์บนแผ่นทดสอบที่ระดับร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศาที่ระดับสีร้อยละ 100 มีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกันไปในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด โดยหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงจะมีแนวโน้มที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ แผ่นทดสอบ H7S3 จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ H5S5 H10 และ S10 ตามลำดับ ในขณะที่หมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวจะมีค่าความมันวาวของแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่แผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าต่ำสุด เมื่อพิจารณาโดยรวมจะพบว่าแผ่นทดสอบ S10 มีค่าความมันวาวต่ำที่สุดในทุกสีของหมึกพิมพ์ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสีของหมึกพิมพ์จะพบว่าหมึกพิมพ์สีดำมีค่าความมันวาวสูงสุด รองลงมาคือหมึกพิมพ์สีม่วงแดงและหมึกพิมพ์สีเหลืองที่มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่หมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวมีค่าต่ำสุด ทั้งนี้การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์จะสามารถให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่สูง ดังนั้นค่าความมันวาวที่วัดได้นั้นจะเป็นสมบัติความมันวาวของหมึกพิมพ์เป็นหลัก เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความมันวาวของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-5 จะเห็นความแตกต่างกันได้ประมาณ 2-6 เท่า

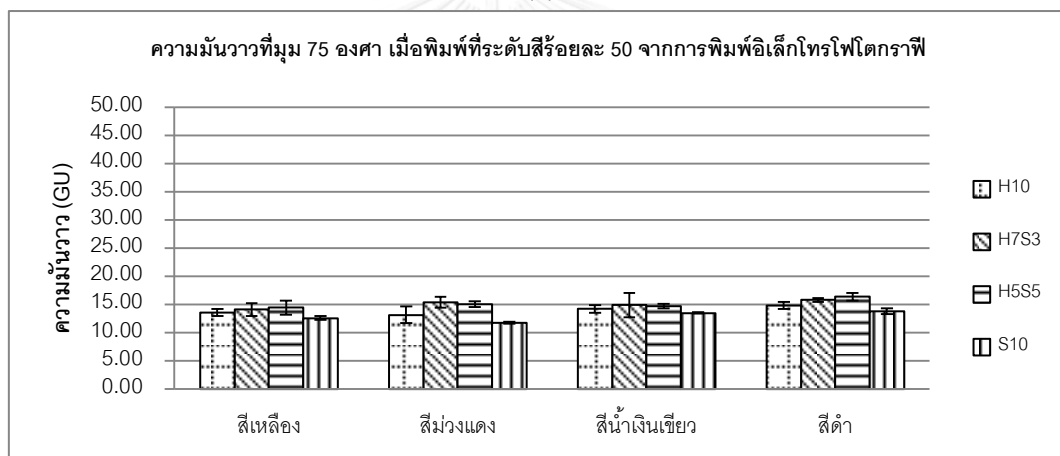
ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศาที่ระดับสีร้อยละ 50 ไม่พบแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการพิมพ์บนแผ่นทดสอบที่ระดับสีร้อยละ 100 โดยหมึกพิมพ์สีดำแผ่นทดสอบ S10 มีค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ต่ำสุดในทุกสีของหมึกพิมพ์ ส่วนหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีดาบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 จะเห็นแนวโน้มการเรียงลำดับของค่าความมันวาวจากมากไปน้อยบนแผ่นทดสอบ H5S5 H7S3 และ H10 ตามลำดับ ในขณะที่หมึกพิมพ์สีม่วงแดงและสีเขียวบนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 จะมีค่าที่สูงใกล้เคียงกัน รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H10 และ S10 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความมันวาวในทุกสีของหมึกพิมพ์จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และยังพบว่าหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวที่พิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 มีค่าความมันวาวที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในแต่ละแผ่นทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบค่าความมันวาวของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-5 จะเห็นความแตกต่างกันได้ประมาณ 2 เท่า

จากความแตกต่างดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่สูง โทเนอร์จะถูกถ่ายโอนไปยังกระดาษและถูกหลอมละลายเข้ากับผิวหน้าของกระดาษด้วยความร้อนและแรงกด การที่โทเนอร์สามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาดังนั้นค่าความมันวาวจึงเป็นผลมาจากสมบัติความมันวาวบนหมึกพิมพ์เป็นหลัก และการที่แผ่นทดสอบ S10 ในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ค่าความมันวาวต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในทุกสีอย่างเห็นได้ชัดนั้นสัมพันธ์กับความเรียบของแผ่นทดสอบก่อนพิมพ์ และอาจเป็นไปได้ว่าแผ่นทดสอบ S10 มีความหยาบและความกว้างของเส้นใยที่สูงจึงส่งผลให้เกิดเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบ ดังนั้นจึงทำให้หมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์ที่มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็กเข้าไปตามรูพรุนบนผิวหน้าของกระดาษและไม่

สามารถสร้างชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอเมื่อผ่านชุดให้ความร้อนและแรงกดในเครื่องพิมพ์จึงทำให้มีค่าความมันวาวต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-9 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 1 พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าความมันวาวบนแผ่นทดสอบทุกชนิดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์ ได้แก่ การพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี การพิมพ์พ่นหมึก และการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี โดยเปรียบเทียบในระดับของการถ่ายโอนหมึกที่สูงที่สุด จะพบว่าหมึกพิมพ์ออฟเซต หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี และหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึก มีแนวโน้มการเรียงลำดับของค่าความมันวาวที่ค่อนข้างคล้ายกันจากมากไปน้อยบนแผ่นทดสอบคือ S10 จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ H5S5 H7S3 และ H10 ตามลำดับ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความมันวาวของแผ่นทดสอบแต่ละชนิดก่อนพิมพ์ที่มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน โดยแผ่นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสมของเยื่อใยยาวสูงจะมีค่าความมันวาวสูงแปรตามกัน สำหรับในส่วนของการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีไม่ปรากฏแนวโน้มดังกล่าว

อย่างเด่นชัด นอกจากนี้แผ่นทดสอบ S10 ให้ค่าความมันวาวต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในทุกสปีชเห็นได้ชัด และค่าความมันวาวบนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 นั้นมีค่าสูงในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันซึ่งมากกว่าแผ่นทดสอบ S10 จะสังเกตได้ว่าลักษณะเช่นนี้สัมพันธ์กับความเรียบของแผ่นทดสอบก่อนพิมพ์ตามตารางที่ 4-7

4.1.8 เปรียบเทียบลักษณะแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ในการพิจารณาลักษณะแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเปรียบเทียบแผ่นทดสอบที่ผลิตได้จากอัตราผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในระดับต่างๆ ก่อนและหลังการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในบริเวณที่พิมพ์แบบพื้นที่ด้วยหมึกพิมพ์สีดำใน 4 กระบวนการพิมพ์ เนื่องจากงานพิมพ์โดยทั่วไปนั้นจะมีสัดส่วนของการใช้หมึกพิมพ์สีดำมากกว่าหมึกพิมพ์สีอื่นๆ โดยจะใช้แผ่นทดสอบที่ถูกทดสอบสภาพพิมพ์ได้ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุดตามตารางที่ 4-12 เพื่อให้สามารถพิจารณาแผ่นทดสอบเมื่อพิมพ์ด้วยความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุดเหมือนกัน

ตารางที่ 4-12 สภาพการพิมพ์ที่ให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุดในแต่ละกระบวนการพิมพ์

กระบวนการพิมพ์	สภาพการพิมพ์ที่ให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุด
1) การพิมพ์ออฟเซต	ค่าการถ่ายโอนหมึกในช่วง 2.0-2.9 กรัมต่อตารางเมตร
2) การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี	ความละเอียดของแอนิลอกซ์ 60 เส้นต่อเซนติเมตร
3) การพิมพ์พื้นหมึก	ระดับสีร้อยละ 100
4) การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์	ระดับสีร้อยละ 100

ในการถ่ายภาพแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะถ่ายภาพเฉพาะบริเวณผิวหน้าด้านบน (ด้านสีกหลาด) ของแผ่นทดสอบซึ่งเป็นด้านพิมพ์ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า โดยเน้นไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณพื้นที่ที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุม (ด้านซ้าย) กับบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีหมึกปกคลุม (ด้านขวา) เพื่อให้เปรียบเทียบได้โดยง่าย

(1) การพิมพ์ออฟเซต

การพิมพ์ออฟเซตเป็นการพิมพ์ที่ใช้แรงกดพิมพ์ หมึกพิมพ์จึงมีการซึมผ่านลงไปจากชั้นผิวหน้าของแผ่นทดสอบและเกิดการแห้งตัว (Drying) ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-10 และ 4-11 พบว่าลักษณะของชั้นหมึกพิมพ์มีการปกคลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบโดยเคลือบติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยตามระยะทางของเส้นใยที่มีการสานกันที่ผิวหน้าและสร้างเป็นชั้นฟิล์มหนาขึ้นมา รวมถึงภายในรูพรุนที่ผิวหน้าหรือช่องว่างระหว่างเส้นใย โดยรูพรุนหรือช่องว่างดังกล่าว

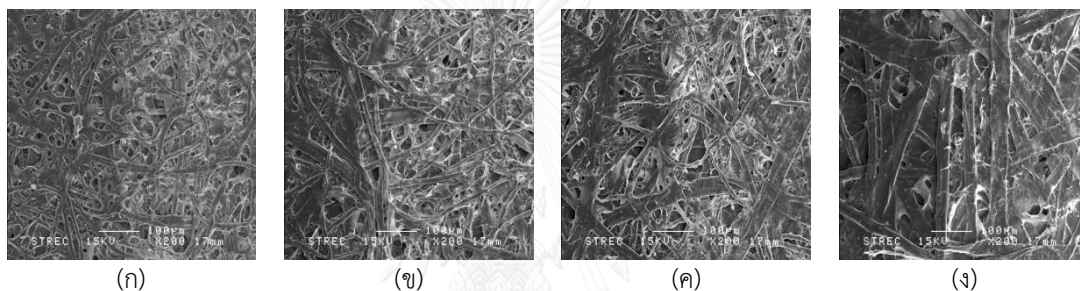
เกิดจากระยะห่างระหว่างเส้นใยที่พาดผ่านและเกิดการสานกัน หากระยะห่างระหว่างเส้นใยมีมากจะทำให้หมึกพิมพ์ลงไปที่ด้านล่างหรือหลุมของช่องว่างบนผิวหน้า ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของชั้นหมึกพิมพ์บนเส้นใยที่อยู่ด้านบนกับที่หลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบที่ลึกลงไปได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้หมึกพิมพ์ออฟเซตนั้นใช้ผงหมึกเป็นสารให้สี ซึ่งมีขนาดของผงหมึกเล็กกว่า 5 ไมครอน ดังนั้นผงสีของหมึกพิมพ์ออฟเซตจะเคลือบติดอยู่บนเส้นใยโดยมีเรซินในหมึกพิมพ์ทำหน้าที่สร้างชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4-10 พบว่าแผ่นทดสอบ H10 มีลักษณะการเกิดช่องว่างหรือหลุมดังกล่าวมีขนาดเล็กสุด เนื่องจากผลิตจากเยื่อใยสั้นล้วนซึ่งมีขนาดเล็ก ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ ที่มีสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นจึงมีช่องว่างหรือหลุมขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบจะเกิดขึ้นได้สม่ำเสมอเมื่อสัดส่วนของเยื่อใยยาวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดำพื้นที่ตามภาพที่ 4-2 (ก) พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H10 และ H5S5 มีค่าสูงเท่ากัน รองลงมาคือ H7S3 ซึ่งแผ่นทดสอบ 3 ชนิดนี้มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดาบนแผ่นทดสอบระหว่าง H10 H7S3 และ H5S5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่หมึกพิมพ์สีดาบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ของ S10 กับแผ่นทดสอบอื่นๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ที่ดีและสามารถใช้แทนระหว่างกันได้ในการพิมพ์ออฟเซตด้วยหมึกพิมพ์สีดาในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร

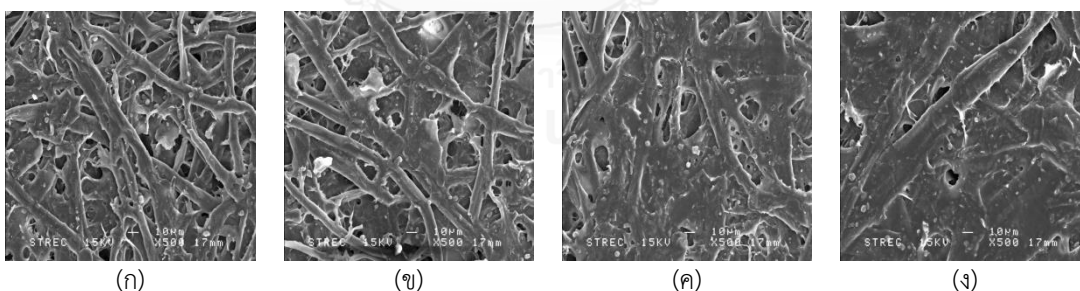
เมื่อพิจารณาร่วมกับความเรียบของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-7 แผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าที่สูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นสมบัติความเรียบของแผ่นทดสอบเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ออฟเซตสีดา อย่างไรก็ตามหากสัดส่วนเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นในแผ่นทดสอบนั้นไม่ได้ทำให้ความเรียบที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบลดลงจนเกินไปจะยังทำให้แผ่นทดสอบรับหมึกพิมพ์ได้ดี โดยพิจารณาจากค่าความดำพื้นที่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ภายหลังการผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วนต่างๆ ตามภาพที่ 4-1 (ก) (ข) และ (ค) การแจกแจงความยาวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การแจกแจงความยาวของเส้นใยในตัวอย่าง S10 ตามภาพภาพที่ 4-1 (ง) แตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแนวโน้มนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติของค่าความดำพื้นที่ที่วัดได้ด้วยเช่นกัน

โดยสรุปแล้วสำหรับการพิมพ์ออฟเซตด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพีซีสีดาในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าสมบัติด้านความเรียบมีผลต่อค่าความดำพื้นที่เป็น

อย่างมาก แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ที่ดี และสามารถ
ใช้แทนระหว่างกันได้ อีกทั้งลักษณะการแจกแจงความยาวของเส้นใยของเยื่อผสมที่ใช้ผลิตแผ่น
ทดสอบแต่ละชนิดปรากฏแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 ให้ค่าเฉลี่ยความต่ำ
พื้นที่บดต่ำสุด สำหรับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ที่เป็นผลจากการสะท้อนแสงของแผ่นทดสอบใน
รูปแบบการสะท้อนตรงและการสะท้อนกระจายซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนชนิดของเยื่อ โดยเยื่อใยยาวที่มี
ความยาวและความกว้างของเส้นใยมากกว่าจะสะท้อนแสงในแบบการสะท้อนตรงได้มากกว่าจึงทำให้
ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวในแผ่นทดสอบ อีกทั้งหมึกพิมพ์ที่
ทดสอบพิมพ์นั้นไม่ได้มีชั้นของหมึกพิมพ์ที่หนามากจนกระทั่งปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบทั้งหมด
ดังนั้นผิวหน้าของแผ่นทดสอบจึงยังคงมีอิทธิพลของต่อค่าความมันวาวที่วัดได้ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 4-10 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า
จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10



ภาพที่ 4-11 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า
จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10

(2) การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

สำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีจะเป็นการพิมพ์แบบใช้แรงกดพิมพ์และหมึกพิมพ์แห้งตัวโดย
การซึมผ่านและการระเหยของตัวทำละลาย ดังนั้นหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีจึงสามารถซึมผ่านจากผิวหน้า
ลงไปบนแผ่นทดสอบรวมถึงการซึมไปตามด้านข้างของเส้นใยได้ เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-12 และ
4-13 พบว่าชั้นหมึกพิมพ์มีการปกคลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบโดยเคลือบติดอยู่ที่ผิวของเส้นใย

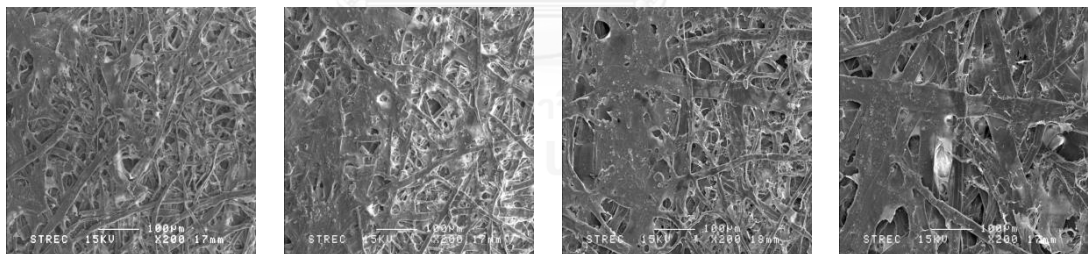
ตามระยะทางของเส้นใยที่มีการสานกันที่ผิวหน้าและสร้างเป็นชั้นฟิล์มที่หนาขึ้นมา โดยช่องว่างที่เกิดจากระยะห่างระหว่างเส้นใยจะถูกหมึกพิมพ์เติมลงในช่องว่างเหล่านั้น แต่ถ้าช่องว่างของระยะห่างระหว่างเส้นใยมีมากจะทำให้หมึกพิมพ์ลงไปทางด้านล่างหรือหลุมของช่องว่างบนผิวหน้า ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของชั้นหมึกพิมพ์บนเส้นใยที่อยู่ด้านบนกับที่หลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบที่สึกลงไปได้อย่างชัดเจน ซึ่งคล้ายกันกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซต อีกทั้งหากบริเวณใดที่หมึกพิมพ์สามารถปกคลุมได้เป็นอย่างดีจะปรากฏลักษณะของชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาและสามารถปกปิดเส้นใยที่อยู่ด้านใต้ของหมึกพิมพ์ได้ ทั้งนี้หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีใช้ผงสีเป็นสารให้สีซึ่งมีขนาดของผงหมึกน้อยกว่า 5 ไมครอน จากภาพจะสามารถสังเกตเห็นผงสีของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเคลือบติดอยู่บนเส้นใยโดยจะมีเรซินในหมึกพิมพ์จะทำหน้าที่สร้างชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบพบว่าแผ่นทดสอบ H10 มีช่องว่างขนาดเล็กและกระจายเป็นจำนวนมาก ในขณะที่แผ่นทดสอบ H7S3 เริ่มมีชั้นของหมึกพิมพ์ที่หนาขึ้นและช่องว่างดังกล่าวถูกปกคลุมด้วยหมึกพิมพ์ แผ่นทดสอบ H5S5 มีชั้นของหมึกพิมพ์ที่หนากว่าและปกคลุมช่องว่างได้ค่อนข้างมากจนบางบริเวณสร้างเป็นชั้นของหมึกพิมพ์ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอได้ แต่ในส่วนของแผ่นทดสอบ S10 หมึกพิมพ์เคลือบติดอยู่บนเส้นใยที่มีความกว้างได้ดีและปกคลุมช่องว่างขนาดเล็กได้ ซึ่งบางบริเวณสามารถสร้างเป็นชั้นของหมึกพิมพ์ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากแผ่นทดสอบ S10 ที่เป็นเยื่อใยยาวล้วนมีช่องว่างที่ค่อนข้างกว้างมาก ดังนั้นบางบริเวณหมึกพิมพ์ปกคลุมได้ไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวกับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบตามภาพที่ 4-4 (ก) พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของแผ่นทดสอบ H5S5 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H7S3 H10 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และ S10 มีค่าต่ำสุด

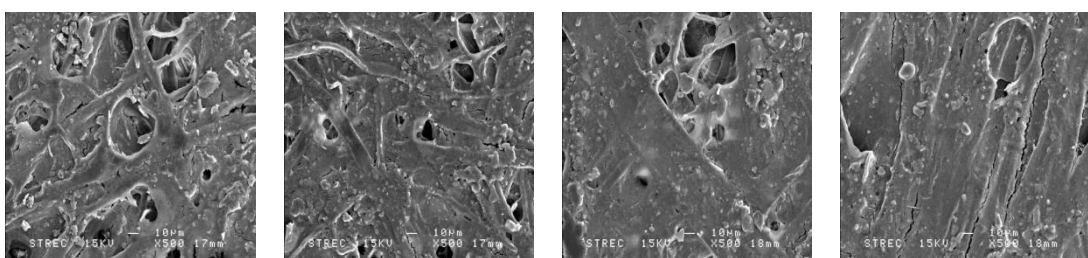
ดังนั้นจากการเปรียบเทียบภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกับค่าความดำพื้นที่พบว่าสอดคล้องกับผลของความเรียบของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-7 ซึ่งแผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าที่สูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นสมบัติความเรียบของแผ่นทดสอบจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีดำ ทั้งนี้พบว่าหากสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นในแผ่นทดสอบนั้นไม่ได้ทำให้ความเรียบที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบลดลงจนเกินไป จะทำให้แผ่นทดสอบนั้นมีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ โดยมีค่าความดำพื้นที่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ภายหลังการผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วนต่างๆ กัน ตามภาพที่ 4-1 (ก) (ข) และ (ค) จะเห็นการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การแจกแจงความยาวของเส้นใยในตัวอย่าง S10 ตามภาพภาพที่ 4-1 (ง) แตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งลักษณะ

ของแนวโน้มนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติของค่าความดำพื้นที่วัดได้ด้วยเช่นกัน

โดยสรุปแล้วสำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำสีดำโดยใช้แอนนิลอกซ์ที่ความละเอียด 60 เส้นต่อเซนติเมตร ความเรียบของแผ่นทดสอบมีผลต่อค่าความดำพื้นที่เป็นอย่างมาก เช่นเดียวกันกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซต แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ที่ดีและสามารถใช้แทนระหว่างกันได้ ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ต่ำสุด และจากการแจกแจงความยาวของเส้นใยของเยื่อผสมที่ใช้ผลิตแผ่นทดสอบแต่ละชนิดปรากฏแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับผลการทดสอบทางสถิติที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำนบนแผ่นทดสอบระหว่าง H10 H7S3 และ H5S5 คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนของสมบัติด้านการขวางกันและความต้านทานที่เกิดจากการใส่สารเติมแต่งประเภทสารต้านการซึมผ่านไม่ส่งผลให้เห็นความแตกต่างอย่างเด่นชัด สำหรับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศาจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนชนิดของเยื่อ โดยเยื่อใยที่มีความยาวและความกว้างของเส้นใยมากกว่าสะท้อนแสงในแบบการสะท้อนตรงได้มากกว่าจึงทำให้ค่าความมันวาวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีดำไม่ได้มีชั้นของหมึกพิมพ์ที่หนามากจนกระทั่งปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบทั้งหมด ดังนั้นผิวหน้าของแผ่นทดสอบจึงยังคงมีอิทธิพลของต่อค่าความมันวาวด้วยเช่นกัน ซึ่งผลที่ได้คล้ายกับการพิมพ์ออฟเซต



ภาพที่ 4-12 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10



ภาพที่ 4-13 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10

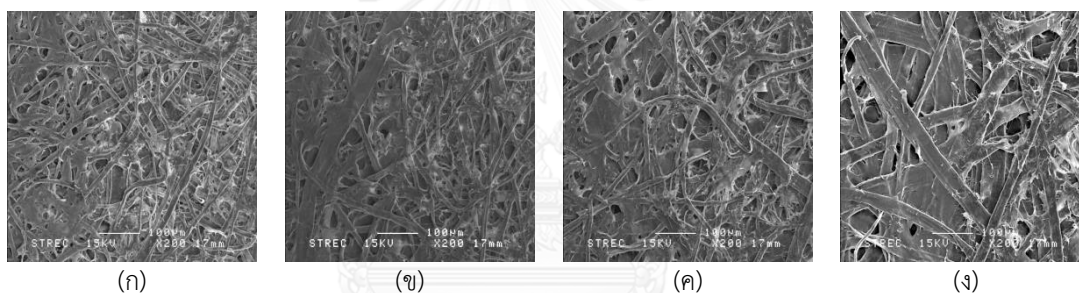
(3) การพิมพ์พ่นหมึก

การพิมพ์พ่นหมึกเป็นการพิมพ์แบบไร้แรงกดพิมพ์และหมึกพิมพ์แห้งตัวโดยการซึมผ่านและการระเหยของตัวทำละลาย โดยหมึกพิมพ์มีการซึมผ่านจากผิวหน้าลงไปในพื้นที่ทดสอบและมีการซึมตามด้านข้าง และเนื่องจากผงหมึกมีขนาดเล็กมากจึงให้สีสดใส ความอึดตัวของสีสูง เมื่อพิจารณาภาพที่ 4-14 และ 4-15 พบว่าหมึกพิมพ์มีการปกคลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบโดยเคลือบติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยตามแนวของเส้นใยที่มีการสานกันที่ผิวหน้าและสร้างเป็นชั้นฟิล์มหนาขึ้นมา นอกจากนี้ช่องว่างหรือหลุมที่เกิดจากระยะห่างระหว่างเส้นใยที่สานกันจะถูกหมึกพิมพ์เติมลงในช่องว่างเหล่านั้นโดยสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน อีกทั้งชั้นฟิล์มของหมึกที่อยู่ในช่องว่างหรือหลุมเหล่านั้นมีการแตกในบางบริเวณ สำหรับในกรณีที่ช่องว่างหรือหลุมขนาดใหญ่จะไม่ถูกปกคลุมด้วยชั้นของหมึกพิมพ์จึงยังคงแสดงลักษณะให้เห็นเป็นหลุมอยู่

เมื่อพิจารณาแผ่นทดสอบที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุมพบว่าผิวหน้าของแผ่นทดสอบมีช่องว่างหรือหลุมกระจายอยู่โดยทั่วไปในบริเวณที่หมึกพิมพ์นั้นไม่สามารถปกคลุมได้ โดยหมึกพิมพ์จะเคลือบติดกับเส้นใยเป็นส่วนใหญ่ แต่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบ H10 มีลักษณะของช่องว่างหรือหลุมมากกว่าแผ่นทดสอบ S10 ส่วนแผ่นทดสอบ H7S3 จะมีลักษณะของผิวหน้าที่ปรากฏคล้ายกับแผ่นทดสอบ H10 ในขณะที่แผ่นทดสอบ H5S5 คล้ายกับแผ่นทดสอบ S10 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวกับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบตามภาพที่ 4-6 (ก) พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยแผ่นทดสอบ S10 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ เล็กน้อย

จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกับค่าความดำพื้นที่พบว่า แผ่นทดสอบ S10 ค่อนข้างให้ลักษณะผิวหน้าแตกต่างไปจากแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะที่ปรากฏก็มีความใกล้เคียงกันกับแผ่นทดสอบ H5S5 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ระหว่างแผ่นทดสอบ H5S5 และ S10 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การมีสัดส่วนของเยื่อใยยาวเพิ่มขึ้นนั้นยังคงทำให้แผ่นทดสอบมีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเรียบของแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-7 แต่สิ่งที่ตรงกันข้ามคือ แผ่นทดสอบ S10 มีค่าความดำพื้นที่สูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ เล็กน้อย แสดงว่าปัจจัยด้านความเรียบไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อแนวโน้มค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์พ่นหมึก ดังเช่นที่ปรากฏในการพิมพ์ออฟเซตและเฟล็กโซกราฟีด้วยหมึกพิมพ์สีดำ อาจเป็นไปได้ว่าสมบัติอื่นๆ ของแผ่นทดสอบอาจส่งเสริมให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้ หรืออาจเป็นผลจากการที่การพิมพ์พ่นหมึกนั้นไม่ใช่การพิมพ์แบบใช้แรงกด

ในส่วนของการทดสอบทางสถิติที่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความต้านทานตบของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบระหว่าง H10 H7S3 และ H5S5 ซึ่งลักษณะแนวโน้มของผลการทดสอบทางสถิติเช่นนี้คล้ายกันกับผลที่ได้จากการพิมพ์ออฟเซตด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันพีซีดำในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร และผลที่ได้จากการพิมพ์เพล็โกโซกราฟีด้วยหมึกพิมพ์สีดำโดยใช้แอนนิลออกซ์ที่ความละเอียด 60 เส้นต่อเซนติเมตร แต่พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความต้านทานตบของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ S10 กับ H10 และ S10 กับ H7S3 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20 – 5.00 มิลลิเมตร ภายหลังการผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วนต่างๆ กัน ตามภาพที่ 4-1 (ก) (ข) และ (ค) จะเห็นการแจกแจงที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การแจกแจงความยาวของเส้นใยในตัวอย่าง S10 ตามภาพที่ 4-1 (ง) 1 แตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งลักษณะของแนวโน้มเช่นนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติของค่าความต้านทานตบที่วัดได้ด้วยเช่นกัน



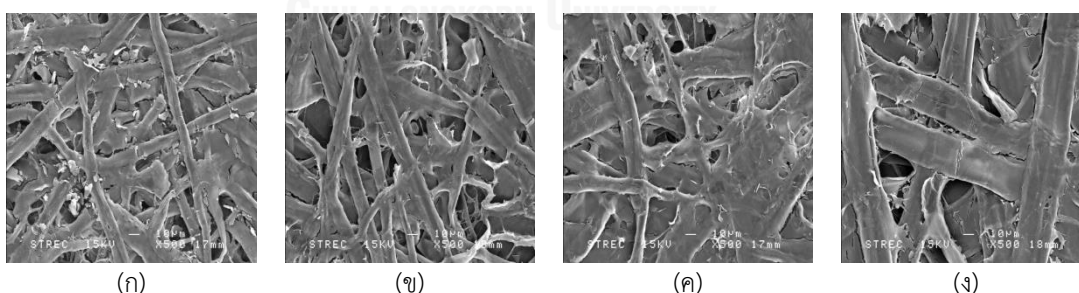
(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-14 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่าจากการพิมพ์หมึกในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-15 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่าจากการพิมพ์หมึกในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10

4) การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี

การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีเป็นการพิมพ์แบบใช้แรงกด หมึกพิมพ์โทนเนอร์จะถูกหลอมด้วยความร้อนและมีการใช้แรงกดเพื่อให้สามารถยึดติดหมึกพิมพ์กับวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้ โทนเนอร์จะ

หลอมละลายยึดติดอยู่ที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบและสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่หนากว่ากระบวนการพิมพ์อื่นๆ ที่ได้ทำการทดลองไปก่อนหน้านี้ จากภาพที่ 4-16 และ 4-17 เห็นได้ว่าหมึกพิมพ์สร้างเป็นชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาโดยสามารถปกปิดเส้นใยที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้เกือบทั้งหมด โดยจะมีบางบริเวณที่หมึกพิมพ์โทเนอร์ไม่สามารถปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบทั้งหมดได้ ซึ่งจะปรากฏเป็นหลุมที่มีอนุภาคทรงกลมกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะเช่นนี้เกิดจากผิวหน้าของกระดาษไม่เรียบสม่ำเสมอเป็นหลุมหรือร่องลึก หมึกพิมพ์โทเนอร์จึงเข้าไปสะสมในบริเวณนั้น และเมื่อแผ่นทดสอบผ่านหน่วยให้ความร้อนและแรงกด (Fuser) บริเวณที่เป็นหลุมหรือร่องลึกที่มีหมึกพิมพ์โทเนอร์เข้าไปสะสมนั้น ไม่สามารถสัมผัสได้อย่างแนบชิดกับหน่วยให้ความร้อนและแรงกดในระดับที่หลอมละลายสร้างเป็นชั้นหมึกพิมพ์ที่สม่ำเสมอได้ จึงปรากฏเป็นอนุภาคของหมึกพิมพ์โทเนอร์ที่สะสมอยู่ภายในหลุมหรือร่องลึก โดยทั่วไปอนุภาคของหมึกพิมพ์โทเนอร์จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ประมาณ 10 ไมครอน ซึ่งใหญ่กว่าอนุภาคผงสีของหมึกพิมพ์ชนิดอื่นๆ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบจะพบว่าแผ่นทดสอบที่มีสัดส่วนของเยื่อใยยาวสูงขึ้นไปจะปรากฏลักษณะของหลุมหรือร่องลึกมากขึ้น เนื่องจากเยื่อใยมีความกว้างและความยาวของเส้นใยที่มากกว่าเยื่อใยสั้น เมื่อเกิดการสานกันระหว่างเส้นใยจึงปรากฏหลุมหรือร่องลึกมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายบริเวณที่ไม่มีหมึกพิมพ์ปกคลุมจะยิ่งเห็นความสัมพันธ์และความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบได้อย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์โทเนอร์สีดำบนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ตามภาพที่ 4-8 สังเกตได้ว่าแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าที่เท่ากัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 มีค่าที่ต่ำกว่าเล็กน้อย และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบระหว่าง H10 H7S3 และ H5S5 แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ S10 กับ H10 S10 กับ H7S3 และ S10 กับ H5S5 ซึ่งลักษณะดังกล่าวสัมพันธ์กับความเรียบของแผ่นทดสอบตามภาพที่ 4-19 อีกทั้งลักษณะแนวโน้มของผลการทดสอบทางสถิติเช่นนี้คล้ายกันกับผลที่ได้จากการพิมพ์ออฟเซตด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำมันพีซีดำที่ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร และการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสีดำ โดยใช้แอนนิลเลอร์ที่ความละเอียด 60 เส้นต่อเซนติเมตร และการพิมพ์พ่นหมึกที่ระดับสปีดร้อยละ 100

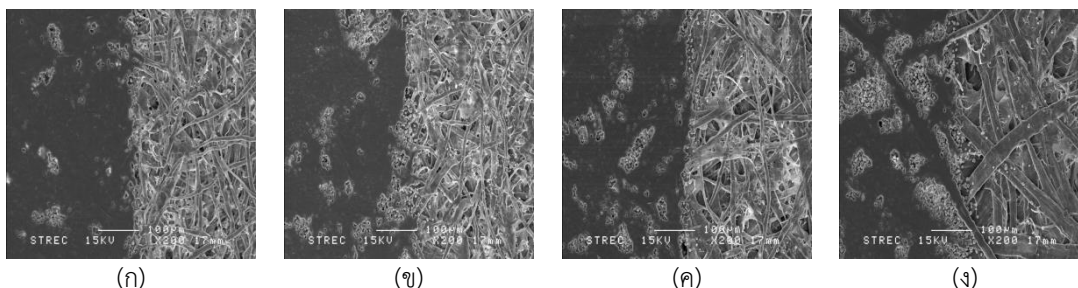
จากผลการทดลองและการทดสอบทางสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของผิวหน้าของแผ่นทดสอบกับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ โดยแผ่นทดสอบ S10 ที่

เป็นเยื่อใยยาวล้วนจะมีหลุมหรือช่องว่างที่ผิวหน้าที่ค่อนข้างกว้างมาก ดังนั้นในบริเวณดังกล่าวหมึกพิมพ์จะปกคลุมได้ไม่ดี ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ ที่มีสัดส่วนของเยื่อใยยาวลดลงมากกลับให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งถึงแม้ว่าชั้นหมึกพิมพ์จะเกิดเป็นหลุมหรือร่องลึกตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นก็ตาม แสดงให้เห็นว่าถ้าความหยابที่ผิวอยู่ในระดับเล็ก (Micro scale) ยังคงส่งผลให้ผิวหน้าสามารถรับหมึกพิมพ์โทนเนอร์ได้ดี แต่ถ้าความหยابที่ผิวนั้นอยู่ในระดับที่ใหญ่ (Macro scale) หมึกพิมพ์โทนเนอร์จะไม่สามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่มีความเรียบของผิวหน้าได้ดี ค่าความต้านทานจึงเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อพิจารณาในส่วนของ การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ภายหลังจากผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในอัตราส่วนต่างๆ กัน ตามภาพที่ 4-1 (ก) (ข) และ (ค) จะเห็นการแจกแจงที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ การแจกแจงความยาวของเส้นใยในตัวอย่าง S10 ตามภาพภาพที่ 4-1 (ง) จะแตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งลักษณะของแนวโน้มเช่นนี้สอดคล้องกับผลของค่าความต้านทานที่วัดได้ด้วยเช่นกัน

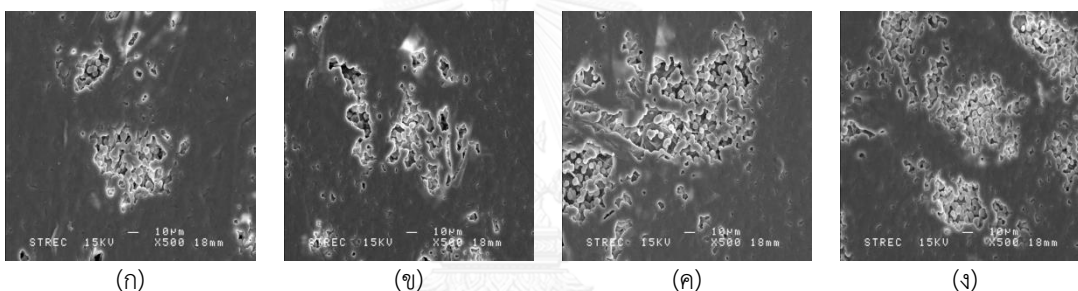
การพิจารณาความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์สีดาบนแผ่นทดสอบตามภาพที่ 4-9 พบว่าแผ่นทดสอบ H5S5 H7S3 และ H10 มีค่าความมันวาวในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 มีค่าต่ำสุด ซึ่งแตกต่างไปจากผลที่ได้ในกระบวนการพิมพ์อื่นๆ ดังนั้นค่าความมันวาวจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นผลจากสมบัติของหมึกพิมพ์โทนเนอร์ นอกจากนี้หมึกพิมพ์โทนเนอร์ยังให้ค่าความมันวาวสูงกว่าหมึกพิมพ์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะของหมึกพิมพ์และชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบ อีกทั้งการที่มีการให้แรงกดและความร้อนทำให้ชั้นของหมึกพิมพ์โทนเนอร์มีความมันวาวสูง

โดยสรุปแล้วสำหรับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยหมึกพิมพ์โทนเนอร์สีดาที่ระดับสีร้อยละ 100 ความเรียบของแผ่นทดสอบมีผลต่อค่าความต้านทานเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกันกับการพิมพ์ด้วยกระบวนการพิมพ์อื่นๆ ทั้งหมด โดยที่แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ที่ดีและสามารถใช้แทนระหว่างกันได้ แต่แผ่นทดสอบ S10 ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานต่ำสุด นอกจากนี้สมบัติความหนาแน่นปรากฏ และความทึบแสง รวมถึงการแจกแจงความยาวของเส้นใยของเยื่อผสมที่ใช้ผลิตแผ่นทดสอบแต่ละชนิด จะปรากฏแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับที่สมบัติความเรียบมีต่อค่าความต้านทาน แต่ในส่วนของคุณค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จะเป็นผลจากสมบัติของหมึกพิมพ์โทนเนอร์และลักษณะของชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาจึงมีค่าความมันวาวที่สูงกว่าหมึกพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์อื่นๆ แต่จะเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าความมันวาวในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นผลจากความเรียบของแผ่น

ทดสอบที่ทำให้สามารถสร้างชั้นของหมึกพิมพ์ปกคลุมได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งผลที่ได้นี้จะแตกต่างจากกระบวนการพิมพ์อื่นๆ ที่แผ่นทดสอบจะมีผลต่อค่าความมันวาวตามสัดส่วนชนิดของเยื่อที่ส่งผลในด้านความสามารถในการสะท้อนแสงของแผ่นทดสอบทั้งการสะท้อนตรงและการสะท้อนกระจาย



ภาพที่ 4-16 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10



ภาพที่ 4-17 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองตอนที่ 1 (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10

พิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในทุกกระบวนการพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีดำด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าความดำพื้นที่บสูงสุด พบว่าความเรียบจะเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บ ซึ่งพบแนวโน้มในลักษณะเดียวกันที่แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ที่ดีและสามารถใช้แทนระหว่างกันได้ แต่แผ่นทดสอบ S10 ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บต่ำสุดในการพิมพ์ออฟเซต เฟล็กโซกราฟี และอิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่ยกพิมพ์พื้นหมึกจะให้ค่าความดำพื้นที่บของแผ่นทดสอบ S10 สูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ เล็กน้อย เมื่อพิจารณาร่วมกับการแจกแจงความยาวของเส้นใยของเยื่อแต่ละชนิดพบว่าการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่คล้ายกันในแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 มีการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่ต่างออกไป โดยส่งผลต่อแนวโน้มสมบัติความเรียบ ความหนาแน่นปรากฏ และความทึบแสงในลักษณะเดียวกัน

ดังนั้นโดยสรุปแล้วจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ของหมึกพิมพ์สีดำในทุกกระบวนการพิมพ์ ร่วมกับการพิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รวมถึงผลวิเคราะห์การแจกแจงความยาวของเส้นใยและปริมาณเส้นใยขนาดเล็กที่มีอยู่ในระบบ พบว่าแผ่นทดสอบที่มีสัดส่วนของเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่แตกต่างกันจะส่งผลให้สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้นั้นมีความแตกต่างกันในด้านต่างๆ อย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านทัศนศาสตร์ อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการผสมเยื่อใยสั้นกับเยื่อใยยาวในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แต่ถ้าในกรณีที่มีการแจกแจงความยาวของเส้นใยและปริมาณเส้นใยขนาดเล็กนั้นมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน (แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5) จะส่งผลให้สมบัติของแผ่นทดสอบบางประการที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสภาพพิมพ์ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันด้วย โดยเฉพาะความหนาแน่นปรากฏ ความทึบแสง และความเรียบ และเมื่อนำไปทดสอบสภาพพิมพ์ได้ของหมึกพิมพ์สีดำโดยพิจารณาจากค่าความดำพื้นทึบซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ทั้ง 4 ชนิดของแผ่นทดสอบ พบว่าแผ่นทดสอบที่มีลักษณะดังกล่าวให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่าจะมีความแตกต่างกันใน 2 รูปแบบ โดยในการพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี และการพิมพ์พ่นหมึก จะให้แนวโน้มของค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ในรูปแบบที่คล้ายกันคือมีแนวโน้มการเรียงลำดับจากมากไปน้อยโดยแผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ H5S5 H7S3 และ H10 ตามลำดับ ในขณะที่การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี แผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าต่ำสุด ซึ่งความแตกต่างเกิดจากความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ โดยการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟีจะให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูง โดยค่าความมันวาวเป็นผลจากสมบัติของหมึกพิมพ์ ในขณะที่การพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี และการพิมพ์พ่นหมึก มีความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่บางกว่าและมีความโปร่งแสง ดังนั้นสมบัติของแผ่นทดสอบจึงมีผลด้วยเช่นกัน โดยจะขึ้นกับสัดส่วนชนิดของเยื่อใยเนื่องจากเยื่อใยยาวที่มีความยาวและความกว้างของเส้นใยที่มากกว่าจะสามารถที่จะสะท้อนแสงในแบบการสะท้อนตรงได้มากกว่าจึงทำให้ค่าความมันวาวมีค่าเพิ่มขึ้น

4.1.9 สรุปผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมสำหรับการทดลองในตอนี่ 2

ในการสรุปผลการคัดเลือกอัตราส่วนผสมสำหรับการทดลองในตอนี่ 2 นั้น จะพิจารณาจากผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้โดยพิจารณาที่ค่าความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบเป็นหลัก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบโดยตรง ดังแสดงตามตารางที่ 4-13 และ 4-14

ตารางที่ 4-13 แผ่นทดสอบที่มีค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดในแต่ละกระบวนการพิมพ์ในการทดลองตอนที่ 1

กระบวนการพิมพ์	สภาพการพิมพ์	แผ่นทดสอบที่มีค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
		สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
ออฟเซต	2.0–2.9 g/m ²	H7S3	H10	H7S3 ⁽¹⁾	H10, H5S5 ⁽¹⁾
	1.0–1.9 g/m ²	H7S3	H5S5 ⁽²⁾	H5S5 ⁽²⁾	H7S3
เฟล็กโซกราฟี	60 V/cm	H7S3, H5S5 ⁽³⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾
	80 V/cm	H5S5 ⁽³⁾	H10 ⁽¹⁾	H5S5	H5S5 ⁽³⁾
	100 V/cm	H5S5 ⁽³⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾	H5S5 ⁽¹⁾
	140 V/cm	H7S3, H5S5 ⁽³⁾	H10, H7S3 ⁽¹⁾	H10, H5S5 ⁽²⁾	H5S5 ⁽³⁾
พ่นหมึก	100 %	H10	H10	H10, S10 ⁽⁴⁾	S10
	50 %	S10	H10	H10, S10 ⁽⁴⁾	H10
อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	100 %	เท่ากันทั้งหมด ⁽²⁾	H7S3 ⁽²⁾	H10, H7S3, H5S5 ⁽²⁾	H10, H7S3, H5S5
	50 %	H5S5 ⁽²⁾	H5S5, S10 ⁽²⁾	H7S3 ⁽²⁾	H7S3, H5S5, S10 ⁽²⁾

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (2) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บนแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (3) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H7S3 และ H5S5 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 (4) ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บนแผ่นทดสอบ H10 และ S10 มีค่าสูงใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4-13 สรุปแผ่นทดสอบที่เหมาะสมในแต่ละกระบวนการพิมพ์ได้ดังนี้ การพิมพ์ออฟเซตแผ่นทดสอบ H7S3 มีความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H5S5 สำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีแผ่นทดสอบ H5S5 มีความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ H7S3 การพิมพ์พ่นหมึกแผ่นทดสอบ H10 มีความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ S10 ส่วนการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิพบว่าทั้งแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความเหมาะสมมากที่สุด

จากนั้นคำนวณความถี่รวมของจำนวนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดที่ให้ค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดในแต่ละกระบวนการพิมพ์และแต่ละสีของหมึกพิมพ์ ตามตารางที่ 4-14 ซึ่งแผ่นทดสอบที่ไม่มีความแตกต่างกันกับแผ่นทดสอบที่ให้ค่าความด้าพื้นที่บสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะถูกคำนวณความถี่รวมด้วย เพราะสามารถใช้แผ่นทดสอบแทนกันได้

จากตารางที่ 4-14 พบว่าแผ่นทดสอบ H10 H7S3 และ H5S5 มีความถี่ที่ใกล้เคียงกัน แต่แผ่นทดสอบ H7S3 มีความถี่สูงสุด ดังนั้นแผ่นทดสอบ H7S3 จึงมีความเหมาะสมมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในส่วนของการพิมพ์พ่นหมึกจะพบว่าความถี่ของแผ่นทดสอบ H7S3 กลับมีค่าเป็น

ศูนย์ ทั้งนี้เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาในภาพที่ 4-6 พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ในทุกสีที่พิมพ์และในทุกระดับสีบนแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าที่ใกล้เคียงกันกับแผ่นทดสอบ H10 เป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าในการทดสอบทางสถิติจะพบความแตกต่างในบางรายการก็ตาม แต่แผ่นทดสอบ H7S3 ก็ยังคงให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ที่ใกล้เคียงกับแผ่นทดสอบ H10 โดยความแตกต่างมีค่าไม่เกิน 0.02 อีกทั้งจากการพิจารณาสมบัติเชิงกลตามตารางที่ 4-4 พบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าแผ่นทดสอบ H10 ดังนั้นแผ่นทดสอบ H7S3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาว 70:30 จึงถูกเลือกสำหรับการนำไปผสมกับเยื่อใยใหม่ในการทดลองตอนที่ 2 เพื่อให้แผ่นทดสอบที่ผลิตได้ยังคงความแข็งแรงอยู่

ตารางที่ 4-14 ความถี่รวมของแผ่นทดสอบที่ให้ค่าความดำพื้นที่สูงสุดในการทดลองตอนที่ 1

แผ่นทดสอบ	การพิมพ์	ระดับของการพิมพ์	สี				รวมความถี่ ในแต่ละการพิมพ์	รวม ทั้งหมด
			Y	M	C	K		
H10	ออฟเซต	2	0	2	2	1	5	28
	เฟล็กโซกราฟี	4	0	4	3	2	9	
	พ่นหมึก	2	1	2	2	1	6	
	อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	2	2	2	2	2	8	
H7S3	ออฟเซต	2	2	1	2	2	7	30
	เฟล็กโซกราฟี	4	4	4	3	4	15	
	พ่นหมึก	2	0	0	0	0	0	
	อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	2	2	2	2	2	8	
H5S5	ออฟเซต	2	0	1	2	1	4	28
	เฟล็กโซกราฟี	4	4	4	4	4	16	
	พ่นหมึก	2	0	0	0	0	0	
	อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	2	2	2	2	2	8	
S10	ออฟเซต	2	0	1	1	0	2	14
	เฟล็กโซกราฟี	4	0	0	1	0	1	
	พ่นหมึก	2	1	0	2	1	4	
	อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	2	2	2	2	1	7	

หมายเหตุ ค่าความถี่ในตารางคือจำนวนแผ่นทดสอบที่ให้ค่าความดำพื้นที่สูงสุดรวมถึงแผ่นทดสอบที่ไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 ผลการทดลองตอนที่ 2

ผลการทดลองในตอนที่ 2 เป็นผลการทดลองจากการผลิตกระดาษหรือแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่โดยผสมกับเยื่อใหม่ ที่ได้จากการเลือกอัตราส่วนผสมในการทดลองตอนที่ 1 ที่ให้ผลการทดสอบในด้านต่างๆ ดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่ 70:30 ในส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่นำมาผสมนั้นมีทั้งหมด 2 ชนิด ซึ่งได้มาจากกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมด (กระดาษ R1) และกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ผสมกันในอัตราส่วน 70:30 (กระดาษ R2) ซึ่งกระดาษที่ใช้ในการผลิตเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเป็นกระดาษถ่ายเอกสารแบบไม่เคลือบผิวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามจะไม่ทราบถึงชนิดและแหล่งของเส้นใยที่นำมาผลิตรวมถึงสัดส่วนและชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้

ในการผสมระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด โดยจะใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 100:0 50:50 และ 0:100 และเพื่อความสะดวกในการแสดงภาพและการวิเคราะห์ผล จึงกำหนดสัญลักษณ์ต่างๆ ดังตารางที่ 4-15 สำหรับสมบัติของกระดาษที่นำมาผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-15 สัญลักษณ์ที่กำหนดในการทดลองตอนที่ 2

ลำดับที่	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
1.	H7S3	เยื่อผสมระหว่างเยื่อใยสั้นกับเยื่อใยยาวที่อัตราส่วน 70:30
2.	100:0	อัตราส่วนผสมที่ 100:0 ระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ (เยื่อใหม่ล้วน)
3.	50:50	อัตราส่วนผสมที่ 50:50 ระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่
4.	0:100	อัตราส่วนผสมที่ 0:100 ระหว่างเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ (เยื่อเวียนทำใหม่ล้วน)
5.	R1	เยื่อเวียนทำใหม่ที่ได้จากกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่ล้วน
6.	R2	เยื่อเวียนทำใหม่ที่ได้จากกระดาษไม่เคลือบผิวที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ผสมกันในอัตราส่วน 70:30
7.	R1 (50:50)	เยื่อผสมระหว่างเยื่อใหม่ (H7S3) กับเยื่อเวียนทำใหม่ R1 ที่อัตราส่วนผสม 50:50
8.	R2 (50:50)	เยื่อผสมระหว่างเยื่อใหม่ (H7S3) กับเยื่อเวียนทำใหม่ R2 ที่อัตราส่วนผสม 50:50
9.	R1 (0:100)	เยื่อผสมระหว่างเยื่อใหม่ (H7S3) กับเยื่อเวียนทำใหม่ R1 ที่อัตราส่วนผสม 0:100
10.	R2 (0:100)	เยื่อผสมระหว่างเยื่อใหม่ (H7S3) กับเยื่อเวียนทำใหม่ R2 ที่อัตราส่วนผสม 0:100

ตารางที่ 4-16 สมบัติของกระดาษจากเยื่อเวียนทำใหม่ก่อนการผสม

สมบัติของกระดาษ	หน่วย	R1	R2
1. สมบัติทางโครงสร้าง			
1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Grammage)	g/m ²	81.41±0.25	79.60±1.00
1.2 ความหนา (Thickness)	µm	109±2	115±5
1.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density)	kg/m ³	740.09±2.29	664.35±35.64
1.4 ความต้านอากาศ	s	11.85±0.50	4.91±0.36
2. สมบัติด้านเชิงกล			
2.1 ดัชนีความต้านแรงฉีก (Tear index)			
แนวการฉีกตามแนวขนานเครื่อง (MD)	mN•m ² /g	6.08±0.27	5.08±0.16
แนวการฉีกตามแนวขวางเครื่อง (CD)	mN•m ² /g	6.58±0.38	6.26±0.81
2.2 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index)			
แนวขนานเครื่อง (MD)	Nm/g	49.46±1.44	35.89±0.89
แนวขวางเครื่อง (CD)	Nm/g	23.26±0.88	18.88±1.35
3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์			
3.1 ความขาว (CIE whiteness)	%	142.51±0.13	142.39±0.94
3.2 ความขาวสว่าง (ISO brightness)	%	101.27±0.07	98.76±0.25
3.3 ความทึบแสง (Opacity)	%	95.53±0.09	96.30±0.12
3.4 ค่าสี (CIELAB Value)			
วิธีการวัดแบบ D/0°, D65, 10°	(L*)	93.05±0.03	91.60±0.11
	(a*)	2.89±0.02	2.88±0.10
	(b*)	-13.03±0.03	-15.70±3.58
วิธีการวัดแบบ 0°/45°, D50, 2°, White backing, No filter	(L*)	92.86±0.14	91.41±0.13
	(a*)	2.49±0.03	2.60±0.11
	(b*)	-9.61±0.13	-9.98±0.18
3.5 ความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°)	GU	7.3±0.1	7.1±0.3
4. สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทาน			
4.1 การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที (Cobb 60)	g/m ²	36.43±3.65	27.13±0.23
4.2 การพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration)			
ด้านสักหลาด (Felt side)	m ⁻¹	23.97±1.51	31.14±1.52
ด้านตะแกรง (Wire side)	m ⁻¹	24.74±1.29	31.44±1.01
5. สมบัติด้านพื้นผิว			
5.1 ความเรียบ (Bekk smoothness)			
ด้านสักหลาด (Felt side)	s	38.12±5.04	21.78±2.03
ด้านตะแกรง (Wire side)	s	32.19±4.37	20.40±0.74
5.2 ความแข็งแรงของผิวหน้า			
แนวขนานเครื่อง (MD)	N/m	92.17±10.45	87.88±12.04
แนวขวางเครื่อง (CD)	N/m	74.48±13.12	85.61±10.44

4.2.1 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากตารางที่ 4-17 พบว่าค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยในเยื่อ H7S3 ใกล้เคียงกับ R2 (50:50) และ R2 (0:100) ในขณะที่ R1 (50:50) และ R1 (0:100) จะมีค่ารองลงมาตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยในเยื่อระหว่าง H7S3 R1 (0:100) และ R2 (0:100) แต่พบว่าค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยในเยื่อระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R1 (0:100) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยในเยื่อ R2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและภายหลังการผสม ในขณะที่เยื่อ R1 ค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยจะลดลงภายหลังการผสมเมื่อเทียบกับเยื่อใหม่ H7S3 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเยื่อ R2 ซึ่งเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ที่มีสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่สูงกว่าเยื่อ R1 แต่เยื่อ R2 กลับมีความยาวของเส้นใยที่สูงกว่า R1 แสดงว่าเยื่อ R1 นั้นแต่เดิมมีเยื่อใยสั้นอยู่ในระบบมากกว่าเยื่อ R2

ตารางที่ 4-17 สัณฐานวิทยาของเส้นใยในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
1. ความยาวของเส้นใย	(mm)	0.79±0.02	0.76±0.01	0.80±0.01	0.71±0.01	0.80±0.01
2. ความกว้างของเส้นใย	(µm)	16.27±5.83	16.40±0.00	16.57±0.06	15.73±0.15	16.13±0.06
3. ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก	(%)	26.01±0.50	22.54±0.26	24.28±1.78	17.21±0.93	21.64±0.93
4. ดัชนีความโค้งงอของเส้นใย	-	0.097±0.003	0.103±0.003	0.097±0.003	0.086±0.002	0.079±0.003
5. ดัชนีความหักงอของเส้นใย	-	2.103±0.005	2.045±0.041	1.933±0.054	1.855±0.011	1.652±0.014

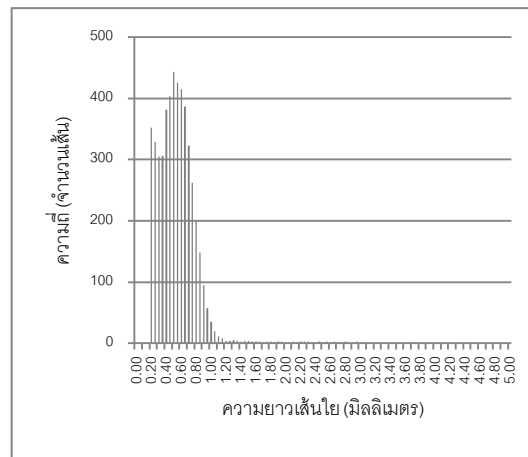
เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าเฉลี่ยความกว้างของเส้นใยพบว่าความกว้างของเส้นใยทุกชนิดนั้นใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นใยขนาดเล็กพบว่าเยื่อ H7S3 จะมีค่าสูงสุด ส่วนเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิดมีค่าน้อยกว่า ส่วนเยื่อผสมอยู่ในระดับกลางๆ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเยื่อเวียนทำใหม่ R1 และ R2 พบว่าเยื่อเวียนทำใหม่ที่มีสัดส่วนของเยื่อใหม่ผสมอยู่น้อยกว่าคือ R2 (0:100) จะมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กสูงกว่า R1 เนื่องจากเส้นใยนั้นถูกตัดให้สั้นลงและเกิดเป็นเส้นใยขนาดเล็กทุกติดยุติ

สำหรับค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งงอของเส้นใยในเยื่อ R1 (50:50) จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ R2 (50:50) โดยจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันกับเยื่อ H7S3 สำหรับเยื่อ R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่ารองลงมาตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่าภายหลังการผสมเยื่อ R1 และ R2 ซึ่งได้เป็นเยื่อ R1

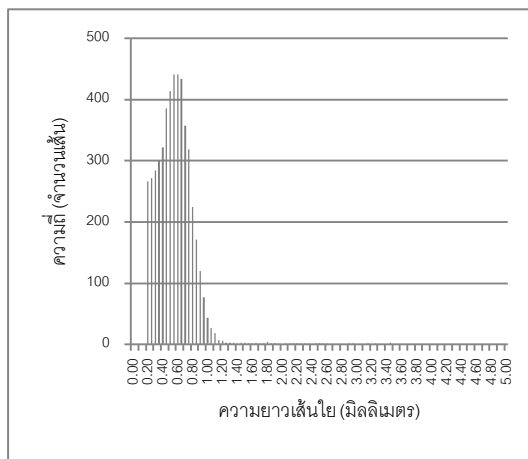
(50:50) และ R2 (50:50) จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งของเส้นใยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่เยื่อ R1 (50:50) มีค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งของเส้นใยสูงกว่าเยื่อ R2 (50:50) และในส่วนของเยื่อที่ยังไม่ได้ผสมก็พบว่าเยื่อ R1 (0:100) มีค่าสูงกว่าเยื่อ R2 (0:100) เช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีการหักงอของเส้นใยพบว่าภายหลังการผสมเยื่อ H7S3 กับ R1 และ R2 ซึ่งได้เป็นเยื่อ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยดัชนีการหักงอของเส้นใยลดลงจากเดิม ค่าเฉลี่ยดัชนีการหักงอของเส้นใยของเยื่อ R1 (0:100) มีค่าสูงกว่าเยื่อ R2 (0:100) ซึ่งพบว่าเยื่อที่มีสัดส่วนของเยื่อใหม่สูงนั้นจะมีค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งและดัชนีการหักงอที่สูง

สำหรับการวิเคราะห์การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20 – 5.00 มิลลิเมตร ตามภาพที่ 4-18 จะเห็นได้ว่าในช่วง 0.50 – 1.25 มิลลิเมตร เยื่อแต่ละชนิดจะมีรูปแบบการแจกแจงความยาวที่ค่อนข้างคล้ายกัน แต่จะเห็นความแตกต่างของรูปแบบการแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20 – 0.50 มิลลิเมตร ได้อย่างเด่นชัด ซึ่งสามารถแยกกลุ่มที่มีรูปแบบการแจกแจงความยาวของเส้นใยออกมาได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เยื่อ H7S3 กลุ่มที่ 2 เยื่อ R1 (50:50) และ R2 (50:50) และกลุ่มที่ 3 เยื่อ R1 (0:100) และ R2 (0:100) โดยเยื่อใหม่ H7S3 เมื่อนำไปผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่จะส่งผลให้การแจกแจงความยาวของเส้นใยที่สั้นในช่วง 0.20 – 0.50 มิลลิเมตร ลดลง ในขณะที่การแจกแจงความยาวของเส้นใยระหว่างเยื่อ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และในระหว่างเยื่อ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) นั้นคล้ายกัน

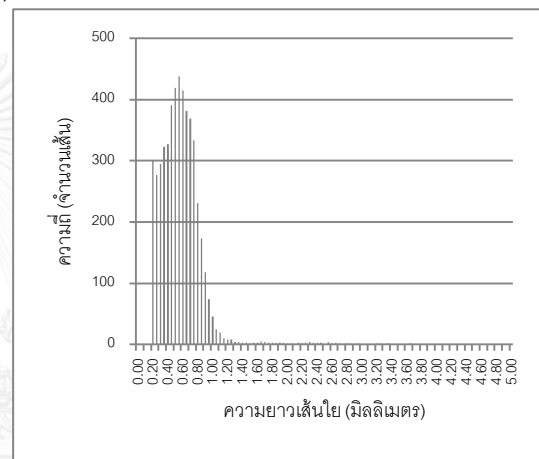
โดยสรุปแล้วเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเส้นใยทั้งหมดจะพบว่าการผสมเยื่อ H7S3 ด้วยเยื่อ R1 และ R2 ซึ่งจะได้เป็นเยื่อ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยที่ผสมด้วยเยื่อ R2 ไม่เปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและภายหลังการผสม ในขณะที่เยื่อ R1 มีค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยที่ลดลงภายหลังการผสม และพบว่าเยื่อที่ผสมกับ R2 มีค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใยที่สูงกว่าเยื่อที่ผสมกับ R1 ทั้งก่อนและหลังการผสม แสดงว่าเยื่อ R1 แต่เดิมนั้นผลิตมาจากเยื่อใยสั้นเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ความกว้างของเส้นใยทุกชนิดนั้นใกล้เคียงกัน สำหรับค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นใยขนาดเล็กพบว่ามีค่าลดลงภายหลังการผสมด้วยเยื่อทั้ง 2 ชนิด แต่เยื่อ R2 มีค่าสูงกว่าเยื่อ R1 ทั้งก่อนและหลังการผสม เนื่องจากมีสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่สูงกว่า สำหรับค่าเฉลี่ยดัชนีความโค้งและดัชนีการหักงอจะค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังผสม ส่วนการแจกแจงความยาวของเส้นใยพบว่าเส้นใยในช่วง 0.20–0.50 มิลลิเมตร จะมีจำนวนลดลงภายหลังการผสม แต่รูปแบบการแจกแจงระหว่างเยื่อผสมนั้นคล้ายกัน



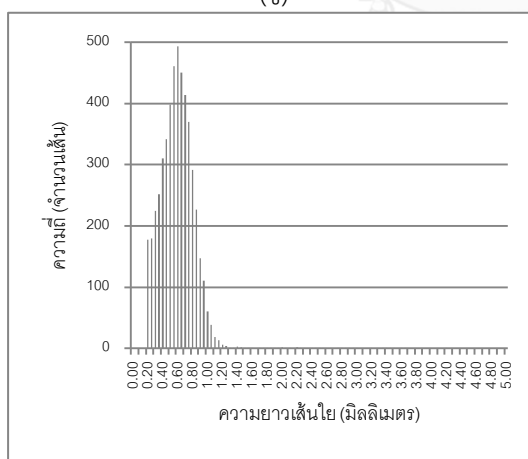
(ก)



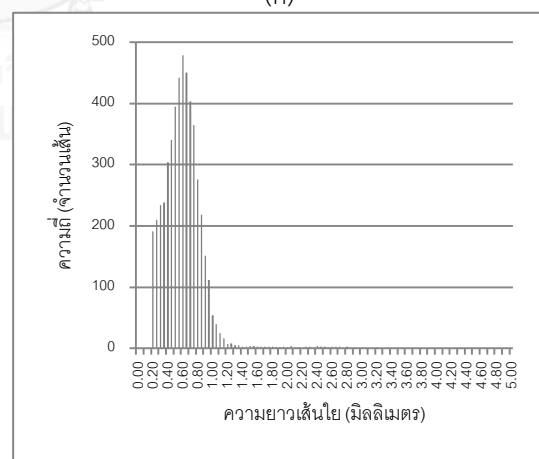
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4-18 การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ในการทดลองตอนที่ 2

(ก) H7S3 (ข) R1 (50:50) (ค) R2 (50:50) (ง) R1 (0:100) (จ) R2 (0:100)

4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ

4.2.2.1 สมบัติทางโครงสร้าง

สมบัติด้านโครงสร้างที่ทำการทดสอบได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความหนาแน่น ปริมาตร และความต้านอากาศ จากตารางที่ 4-18 แผ่นกระดาษทดสอบที่ผลิตทั้งหมดมีน้ำหนักมาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนดประมาณ 80 กรัมต่อตารางเมตร ในส่วนของค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทดสอบพบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าต่ำสุด การผสมเยื่อ R1 และ R2 ทำให้แผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบ H7S3 โดยแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแต่เดิมแผ่นทดสอบจากเยื่อ R1 (0:100) และ R2 (0:100) ก็มีค่าเฉลี่ยความหนาที่สูงสุดในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R1 (0:100) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่แผ่นทดสอบระหว่างคู่ R2 (50:50) กับ R2 (0:100) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเยื่อใหม่เมื่อถูกนำไปผสมกับเยื่อ R1 (0:100) ได้เป็นแผ่นทดสอบ R1 (50:50) จะมีความหนาที่สูงขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นปรากฏด้วยเช่นกัน และยังพบว่าของค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-18 สมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ชนิดของแผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
น้ำหนักมาตรฐาน	g/m ²	80.66±0.23	80.92±1.06	80.29±1.06	80.59±0.69	81.04±0.43
ความหนา	µm	126±2	133±4	132±2	139±3	136±3
ความหนาแน่นปรากฏ	kg/m ³	642±9	606.05±10.02	606.18±6.54	579.59±4.58	592.38±7.45
ความต้านอากาศ	s	15.45±0.22	6.81±0.34	6.86±0.24	3.22±0.04	2.82±0.10

สำหรับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบพบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกัน และรองลงมาคือแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ส่วนแผ่นทดสอบ R1 (0:100) จะมีค่าต่ำสุด โดยที่ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบระหว่าง R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1

(50:50) กับ R1 (0:100) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R2 (50:50) กับ R2 (0:100) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเยื่อใหม่เมื่อถูกผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่จะส่งผลมีความหนาแน่นปรากฏลดลง แต่ความแตกต่างนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเยื่อ R1 มีสัดส่วนของเยื่อใหม่ที่สูงกว่าเยื่อ R2 เพราะเยื่อเวียนทำใหม่นั้นมีการเกิดฮอว์ร์นิกเคชันทำให้เส้นใยไม่สามารถบวมตัวได้ดีเมื่อรับน้ำ อย่างไรก็ตามพบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาความต้านทานอากาศพบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานอากาศของแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุดแตกต่างจากแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกัน และในส่วนของแผ่นทดสอบทั้ง R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่ารองต่ำลงมาอีกในระดับที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานอากาศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) เท่านั้น ซึ่งผลการทดลองในส่วนของความต้านทานอากาศนี้จะสัมพันธ์กับรูปแบบการแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20–5.00 มิลลิเมตร ตามภาพที่ 4-18 จะเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบที่มีความถี่การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วงสั้นสูงจะสัมพันธ์กับค่าความต้านทานอากาศสูง โดยแผ่นทดสอบ H7S3 ที่มีความถี่การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วงสั้นสูง แต่แผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) จะมีความถี่การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วงสั้นที่ลดลงมา โดยรูปแบบของการแจกแจงความยาวของเส้นใยของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) จะมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน และเช่นเดียวกันกับแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการผสมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่นั้นส่งผลให้ความต้านทานอากาศลดลงเนื่องจากการลดลงของเส้นใยสั้น และเยื่อเวียนทำใหม่ไม่สามารถบวมตัวได้ดีเมื่อรับน้ำอีกครั้งจากการเกิดฮอว์ร์นิกเคชัน เส้นใยไม่แนบชิดกันและแผ่นทดสอบอาจเกิดเป็นรูพรุนมากขึ้น ความต้านทานอากาศจึงลดลง

โดยสรุปแล้วจากการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างพบว่าการผสมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่นั้นทำให้ความหนาแน่นของแผ่นทดสอบสูงขึ้น แต่ความหนาแน่นปรากฏและความต้านทานอากาศลดลงซึ่งเป็นผลมาจากสภาพของเส้นใยที่เกิดฮอว์ร์นิกเคชัน แต่สำหรับแผ่นทดสอบจากเยื่อผสมทั้ง 2 ชนิด จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่ผสมในการวิจัยนี้ยังไม่แสดงถึงผลกระทบต่อสมบัติโครงสร้างของแผ่นทดสอบอย่างเด่นชัด

4.2.2.2 สมบัติเชิงกล

จากตารางที่ 4-19 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความต้านแรงฉีกของแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าในส่วนของสภาพเส้นใยเดี่ยวในแผ่นทดสอบ H7S3 มีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ เนื่องจากแผ่นทดสอบ H7S3 ผลิตจากเยื่อใหม่เส้นใยอยู่ในสภาพที่ดีกว่าเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ อีกทั้งเมื่อผสมเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ตามที่ได้ทดลองกับแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะพบว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความต้านแรงฉีกมีค่าลดลง

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) จะพบว่าแผ่นทดสอบ R1 (0:100) จะมีค่าเฉลี่ยดัชนีความต้านแรงฉีกมีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพของเส้นใยที่แตกต่างกันแต่เดิมถึงแม้ว่าเยื่อ R1 จะเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ที่ผลิตมาจากเยื่อใหม่ล้วน

ตารางที่ 4-19 สมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ชนิดของแผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
ดัชนีความต้านแรงฉีก	mN•m ² /g	9.24±0.31	7.30±0.15	7.50±0.22	4.32±0.13	5.73±0.21
ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	Nm/g	45.41±0.18	31.70±0.86	31.83±1.16	23.65±0.35	23.05±0.59

หากเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกในเยื่อ R1 และ R2 ก่อนนำมาทดลองผลิตเป็นแผ่นทดสอบ (ซึ่งเป็นกระดาษถ่ายเอกสารที่ใช้ในเชิงพาณิชย์) พบว่าสมบัติดัชนีความต้านแรงฉีกตามตารางที่ 4-16 นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อนำมาทดลองผลิตแผ่นทดสอบในลักษณะของเยื่อเวียนทำใหม่ตามการทดลองตอนที่ 2 จะเกิดความแตกต่างของแผ่นทดสอบอย่างเห็นได้ชัดระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตกระดาษในระดับอุตสาหกรรมนั้นมีการใส่สารเติมแต่งและการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของกระดาษโดยการกรดรีดจึงส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เมื่อนำมาผลิตเป็นแผ่นทดสอบซึ่งไม่ได้มีกระบวนการดังกล่าวเส้นใยในแผ่นทดสอบจึงสามารถแสดงสมบัติอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความต้านแรงฉีกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสำหรับแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50)

เมื่อพิจารณาดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง พบว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยของเยื่อใหม่ในแผ่นทดสอบ H7S3 นั้นเกิดขึ้นได้ดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่ ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) จะมีค่าต่ำสุดในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการผสมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่คือ แผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) พบว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเยื่อใหม่ แต่แผ่นทดสอบทั้งสองชนิดมีค่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าเยื่อ R1 และ R2 สามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ทั้งๆ ที่ผลสมบัติของกระดาษก่อนนำมาทดลองตามตารางที่ 4-16 นั้นแตกต่างกัน

ในส่วนของการทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และ คู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) เท่านั้น

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมสำหรับสมบัติด้านเชิงกลทั้งค่าดัชนีความต้านแรงฉีกและค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง พบว่าการผสมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ตามแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลทั้ง 2 ด้าน มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นแผ่นทดสอบจะมีค่าดัชนีความต้านแรงฉีกและค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ลดลงเมื่อมีการผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ โดยที่ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกจะสัมพันธ์กับสภาพของเส้นใย ในขณะที่ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงจะสัมพันธ์กับการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยในแผ่นทดสอบ อย่างไรก็ตามการใช้เยื่อ R1 และ R2 นั้นไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของสมบัติเชิงกลระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ในระดับที่ใช้นี้ไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นทดสอบอย่างชัดเจน

4.2.2.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความขาว (CIE Whiteness) ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ค่าสี (CIELAB Value) และความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°) ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4-20 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ชนิดของแผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
ความขาว	%	61.47±0.48	100.46±0.25	109.82±4.50	122.41±2.98	129.04±0.31
ความขาวสว่าง	%	80.40±0.23	88.63±0.16	89.73±1.73	94.28±1.06	94.40±0.05
ความทึบแสง	%	88.13±0.08	94.48±0.31	95.30±0.13	96.36±0.28	97.08±0.20
ค่าสี (CIELAB Value)						
วิธีการวัดแบบ (ISO 5631-2:2008)	(L*)	94.94±0.06	93.28±0.05	92.34±0.22	92.82±0.18	91.65±0.06
D/8°, D65, 10°	(a*)	0.41±0.03	1.20±0.01	1.81±0.08	2.04±0.07	2.21±0.05
	(b*)	5.73±0.07	-3.67±0.03	-6.14±0.89	-8.69±0.58	-10.61±0.09
วิธีการวัดแบบ (ISO 13656:2000)	(L*)	94.65±0.03	94.01±0.26	92.98±0.13	91.82±0.03	90.57±0.04
0°/45°, D50, 2°,	(a*)	-0.29±0.05	0.84±0.01	1.41±0.02	1.46±0.04	1.66±0.01
White backing, No filter	(b*)	4.35±0.08	-1.66±0.09	-3.35±0.66	-5.41±0.37	-6.64±0.16
ความมันวาวที่มุม 75 องศา	GU	6.5±0.1	6.07±0.01	6.12±0.07	6.00±0.12	6.03±0.04

จากตารางที่ 4-20 พบว่าค่าเฉลี่ยความขาวของแผ่นทดสอบนั้นแตกต่างกัน โดยแผ่นทดสอบ R2 (0:100) จะมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ R1 (0:100) R2 (50:50) R1 (50:50) และ H7S3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) จะมีค่าเฉลี่ยความขาวที่สูงกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) โดยที่เยื่อ R2 มีเฉลี่ยความขาวที่สูงกว่าเยื่อ R1 อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความขาวของเยื่อทั้งสองชนิดจะพบว่ามีค่าตั้งแต่ 100 ขึ้นไป แสดงว่าภายในแผ่นทดสอบยังคงมีสารเพิ่มความขาว (Optical Brightening Agent, OBA) ตกค้างอยู่ ซึ่งตามปกติแล้วสารเพิ่มความขาวจะถูกออกแบบมาเพื่อให้ยึดติดกับเส้นใยจากที่จะกำจัดออกได้ เมื่อนำมาผลิตแผ่นทดสอบในการทดลองนี้จึงอาจยังคงมีตกค้างอยู่บ้าง

อย่างไรก็ตามพบว่าค่าเฉลี่ยความขาวของแผ่นทดสอบลดลงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยความขาวของกระดาษก่อนนำมาทดลองตามตารางที่ 4-16 ซึ่งทั้ง R1 และ R2 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำมาผลิตแผ่นทดสอบจะพบว่าเยื่อ R1 จะมีค่าน้อยกว่า R2 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสารเพิ่มความขาวในเยื่อ R1 ตกค้างน้อยกว่าเยื่อ R2 แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลชนิดของสารเพิ่มความขาวและสารเติมแต่งอื่นๆ ของในทั้ง R1 และ R2 จึงไม่สามารถวิเคราะห์ประเด็นนี้เพิ่มเติมได้

ในส่วนของกรณีที่แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) มีค่าเฉลี่ยความขาวที่สูงกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) นั้นอาจเป็นเพราะสารเพิ่มความขาวและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความขาวของกระดาษยังคงตกค้างอยู่

ดังนั้นการผลิตแผ่นทดสอบที่ได้จากเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) จะเป็นการเพิ่มเส้นใยที่ไม่ได้มีสารเพิ่มความขาวและสารเติมแต่งที่ใช้เพิ่มความขาวของกระดาษ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยความขาวของแผ่นทดสอบมีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความขาวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) เท่านั้น

ในส่วนของความขาวสว่างซึ่งเป็นการวัดค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) จะมีค่าสูงสุดเท่ากัน และในส่วนของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาซึ่งทั้ง 2 ค่านี้ใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่แผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าต่ำสุด ทั้งนี้อาจเป็นผลจากสารเพิ่มความขาวและสารเติมแต่งที่ตกค้างอยู่เดิมจากในเยื่อเวียนทำใหม่ที่นำมาทดลอง โดยแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) จะมีค่าความขาวสว่างที่สูงกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) เนื่องจากถูกผสมด้วยเยื่อ H7S3 สำหรับการทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความขาวสว่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) เท่านั้น

สำหรับค่าเฉลี่ยความทึบแสงของแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่าสูงสุดซึ่งใกล้เคียงกันมาก และในส่วนของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาซึ่งทั้ง 2 ค่านี้ใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่แผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีแนวโน้มที่คล้ายกับค่าความขาวสว่าง ทั้งนี้ในแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) จะมีค่าเกือบถึงร้อยละ 100 ในขณะที่แผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าต่ำสุด และในส่วนของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2 กลุ่มนี้ ซึ่งอาจเป็นเพราะสารเติมแต่งที่ยังคงตกค้างอยู่ในเยื่อเวียนทำใหม่จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความทึบแสงมีค่าสูง และเมื่อมีการผสมกับเยื่อใหม่จึงมีค่าลดลง ในการทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความทึบแสงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (50:50) และระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) เท่านั้น

สำหรับค่าสี (CIELAB Value) จะวัดใน 2 แบบ ตามตารางที่ 4-20 ข้อ 3.4 โดยแบบแรกเป็นการวัดค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมกระดาษ แบบที่ 2 จะเป็นการวัดค่าสีที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการพิมพ์ และเมื่อนำค่าที่วัดได้มาคำนวณค่าความเบี่ยงต่างสี (ΔE^*_{ab})

ระหว่างแผ่นทดสอบได้ผลตามตารางที่ 4-21 ซึ่งทั้งการวัดค่าตามวิธี ISO 5631-2:2008 และ ISO 13656:2000 คำนวณได้ค่าความเปรียบต่างสีระหว่างแผ่นทดสอบ H7S3 กับ R1 (50:50) และระหว่างแผ่นทดสอบ H7S3 กับ R2 (50:50) มีค่าสูงทั้งคู่ แสดงว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ ทั้ง R1 และ R2 ส่งผลให้ค่าสีของแผ่นทดสอบแตกต่างกันในระดับที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 4-21 ค่าความเปรียบต่างสี (ΔE^*_{ab})

ค่าความเปรียบต่างสี ระหว่างแผ่นทดสอบ	ค่าความเปรียบต่างสีตามวิธีการทดสอบ	
	ISO 5631-2:2008 (D/0°, D65, 10°)	ISO 13656:2000 (0°/45°, D50, 2°, White Backing, No filter)
H7S3 กับ R1 (50:50)	9.58	12.24
H7S3 กับ R2 (50:50)	4.54	8.05
R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	2.71	2.07
R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	2.25	1.77

แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) ซึ่งทั้งสองชนิดเป็นแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) และแผ่นทดสอบ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ซึ่งทั้งสองชนิดเป็นแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) พบว่าแผ่นทดสอบทั้งสองคู่ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเยื่อเวียนทำใหม่ที่แตกต่างกันจะมีค่าความเปรียบต่างสีที่ค่อนข้างต่ำไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นโดยสรุปแล้วชนิดของเยื่อเวียนทำใหม่ที่แตกต่างกันจะไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของค่าสีของแผ่นทดสอบ แต่การผสมเยื่อเวียนทำใหม่เข้ากับเยื่อใหม่จะส่งผลต่อความแตกต่างของค่าสีของแผ่นทดสอบอย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่าการวัดค่าสีด้วยสองวิธีนี้ให้ผลการคำนวณค่าความเปรียบต่างสีค่อนข้างแตกต่างกันเล็กน้อยแต่ให้แนวโน้มผลของการวัดที่สอดคล้องกันไปทิศทางเดียวกัน

ในส่วนของค่าเฉลี่ยความมันวาวเมื่อวัดค่าที่มุม 75 องศา พบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด สำหรับในส่วนของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) R2 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่าเฉลี่ยความมันวาวเมื่อวัดค่าที่มุม 75 องศา ร่องลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก แสดงว่าทั้งชนิดของเยื่อเวียนทำใหม่ R1 และ R2 และการผสมเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ไม่ได้มีผลต่อค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา

โดยสรุปแล้วการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่จะส่งผลให้สมบัติด้านทัศนศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปตามสารเติมแต่งที่ตกค้างจากเยื่อเวียนทำใหม่ โดยความขาว ความขาวสว่าง และ

ความทึบแสงมีค่าสูงขึ้น ส่วนความมันวาวที่มุม 75 องศา มีค่าลดลง และจะพบวาระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) นั้นมีเพียงค่าความขาวเท่านั้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2.4 สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน

สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานที่ทำการทดสอบได้แก่ การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที (Cobb 60) และการพิมพ์ซึมผ่าน (Print penetration) ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4-22 สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทานของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ชนิดของแผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที	g/m ²	17.7±0.1	15.4±0.2	15.3±0.1	16.9±0.3	15.4±0.3
การพิมพ์ซึมผ่าน	m ⁻¹	29.57±0.67	37.74±0.71	37.74±0.71	40.92±2.51	38.97±0.89

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4-22 พบว่าในส่วนของค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที แผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด โดยแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่ารองลงมา ในขณะที่แผ่นทดสอบ R2 (0:100) R1 (50:50) และ R2 (50:50) นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเยื่อใหม่จะดูดซึมน้ำได้ดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่ เพราะเยื่อเวียนทำใหม่เกิดฮอว์นนิฟิเคชันจึงทำให้ดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าเยื่อใหม่ อย่างไรก็ตามการที่แผ่นทดสอบเยื่อผสม R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) นั้น อาจเป็นเพราะว่าโครงสร้างของกระดาษที่ใช้เยื่อใหม่มีความต้านทานอากาศสูงจึงมีรูพรุนและโพรงอากาศภายในน้อย เมื่อผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ถึงแม้ว่าเยื่ออาจสามารถดูดซึมน้ำได้สูงขึ้นแต่การมีความต้านทานอากาศสูงจึงทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำน้อยลง ทั้งนี้ถึงแม้จะมีการเติมสารเติมแต่ง (AKD, C-PAM, Cationic Starch) ในน้ำเยื่อในระดับที่เท่ากันในทุกชนิดของแผ่นทดสอบ แต่อาจเป็นไปได้ว่ามีสารเคมีที่ตกค้างมาจากเยื่อเวียนทำใหม่ และความสามารถในการคงสารเคมีของเส้นใยแต่ละชนิด (Retention) ก็อาจไม่เท่ากัน เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (0:100) กลับพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับการพิมพ์ซึมผ่านพบว่าแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ R2 (0:100) และในส่วนของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาในระดับที่เท่ากัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าต่ำสุด ดังนั้นการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่จะ

ส่งผลให้หมึกพิมพ์สามารถซึมผ่านได้มากกว่า แต่ระหว่างแผ่นทดสอบทั้ง R1 (50:50) กับ R2 (50:50) หมึกพิมพ์สามารถซึมผ่านได้ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดลองนี้ค่อนข้างสอดคล้องกับผลความต้านอากาศของแผ่นทดสอบตามภาพที่ 4-58 ที่แผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด หมึกพิมพ์ซึ่งเป็นฐานน้ำมันจึงซึมผ่านได้น้อยกว่า

เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยการพิมพ์ซึมผ่านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) R2 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) แสดงให้เห็นว่าแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดมีสมบัติด้านการพิมพ์ซึมผ่านที่เหมือนกัน

4.2.2.5 สมบัติด้านพื้นผิว

สมบัติด้านพื้นผิวที่ทดสอบได้แก่ ความเรียบ และความแข็งแรงของผิวหน้า จากตารางที่ 4-23 พบว่าค่าเฉลี่ยความเรียบของแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ แผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นทดสอบ R2 (50:50) ส่วนแผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่าต่ำสุด แสดงว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดคือ R1 และ R2 ทำให้ค่าเฉลี่ยความเรียบของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าลดลงในระดับค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ในการเปรียบเทียบแผ่นทดสอบระหว่างเยื่อ R1 และ R2 ในแบบที่เป็นเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) และในแบบเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) นั้นพบว่าเยื่อ R1 มีค่าเฉลี่ยความเรียบสูงกว่าเยื่อ R2 ทั้งสองกรณี เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความเรียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเรียบระหว่าง 2 ค่า พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) ระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R1 (0:100) และระหว่างคู่ R2 (50:50) กับ R1 (0:100) แสดงให้เห็นว่าการเติมเยื่อใหม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในด้านความเรียบอย่างชัดเจนระหว่างแผ่นทดสอบ R2 (50:50) กับ R2 (0:100) ที่มีส่วนผสมของเยื่อเวียนทำใหม่มากกว่า

ตารางที่ 4-23 สมบัติด้านพื้นผิวของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ชนิดของแผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
ความเรียบ	s	14.9±1.3	9.8±0.6	9.2±0.7	9.2±0.6	7.5±0.5
ความแข็งแรงของผิวหน้า	N/m	46.00±1.84	24.35±2.62	23.66±2.22	19.75±0.90	20.00±0.50

ในส่วนของความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบพบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และรองลงมาคือแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเติมเยื่อใหม่ H7S3 ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิด คือ R1 และ R2 ทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าลดลงอย่างมากในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนการเปรียบเทียบแผ่นทดสอบระหว่างเยื่อ R1 และ R2 ในแบบที่เป็นเยื่อใหม่ผสมกับเยื่อเวียนทำใหม่ (50:50) และในแบบที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) นั้น พบว่าเยื่อ R1 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าที่ใกล้เคียงกันกับเยื่อ R2 ทั้งสองกรณี จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชนิดของแผ่นทดสอบมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างคู่ของแผ่นทดสอบ H7S3 กับแผ่นทดสอบอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) R2 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) แสดงให้เห็นว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดนี้ส่งผลให้ความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุปแล้วผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด จะส่งผลต่อสมบัติด้านพื้นผิวของแผ่นทดสอบ โดยทำให้ความเรียบและความแข็งแรงของผิวหน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่เป็นเยื่อผสม R1 (50:50) และ R2 (50:50) นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ได้ส่งผลให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4-24 การเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติของแผ่นทดสอบในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3				
1. สมบัติทางโครงสร้าง									
1.1 น้ำหนักมาตรฐาน	g/m ²	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2 ความหนา	μm	R1>R2	1	R1>R2	3	↑	7	↑	6
1.3 ความหนาแน่นปรากฏ	kg/m ³	R1<R2	-0.13	R1<R2	-12.79	↓	-35.8	↓	-35.7
1.4 ความต้านอากาศ	s	R1<R2	-0.05	R1>R2	0.40	↓	-8.64	↓	-8.59
2. สมบัติด้านเชิงกล									
2.1 ดัชนีความต้านแรงฉีก	mN·m ² /g	R1<R2	-0.2	R1<R2	-1.41	↓	-1.94	↓	-1.74
2.2 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	Nm/g	R1<R2	-0.13	R1>R2	0.60	↓	-13.71	↓	-13.58
3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์									
3.1 ความขาว	%	R1<R2	-9.36	R1<R2	-6.63	↑	38.99	↑	48.35
3.2 ความขาวสว่าง	%	R1<R2	-1.1	R1<R2	-0.12	↑	8.23	↑	9.33
3.3 ความทึบแสง	%	R1<R2	-0.82	R1<R2	-0.72	↑	6.35	↑	7.17
3.4 ค่าสี (CIELAB Value)									
วิธีการวัดแบบ (ISO 5631-2:2008)	ΔE_{ab}^*		2.7		2.3		9.6		12.2
วิธีการวัดแบบ (ISO 13656:2000)	ΔE_{ab}^*		2.1		1.8		6.1		8.1
3.5 ความมันวาวที่มุม 75 องศา	GU	R1<R2	-0.05	R1<R2	-0.03	↓	-0.41	↓	-0.36
4. สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน									
4.1 การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที	g/m ²	R1>R2	0.10	R1>R2	1.50	↓	-2.32	↓	-2.42
4.2 การพิมพ์ซึมผ่าน	m ⁻¹	R1=R2	0.00	R1>R2	1.95	↑	8.17	↑	8.17
5. สมบัติด้านพื้นผิว									
5.1 ความเรียบ	s	R1>R2	0.60	R1>R2	1.70	↓	-5.08	↓	-5.68
5.2 ความแข็งแรงของผิวหน้า	N/m	R1>R2	0.69	R1<R2	-0.25	↓	-22	↓	-22

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4-24 สามารถสรุปความแตกต่างของสมบัติทั้งหมดของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ในการทดลองตอนที่ 2 ดังนี้

1. สมบัติด้านโครงสร้าง

ในส่วนของความหนา ความหนาแน่นปรากฏ และความต้านอากาศ พบว่าไม่มีแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยสมบัติต่างๆ ระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดในแต่ละระดับที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน แต่เมื่อเยื่อเวียนทำใหม่ลงในเยื่อใหม่กลับส่งผลให้ความหนาเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นปรากฏลดลง โดยเฉพาะเยื่อ R1 ที่เห็นได้ชัด ส่วนความต้านมีค่าลดลงในระดับที่ใกล้เคียงกันในเยื่อทั้งสองชนิด

2. สมบัติด้านเชิงกล

จากผลการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยดัชนีความต้านแรงฉีกระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดที่อัตราส่วน 0:100 เท่านั้น โดยแผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่ามากกว่า R1 (0:100) แต่ค่าเฉลี่ยดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดในระดับอัตราส่วนผสมเดียวกันกลับพบว่ามีค่าแตกต่างกัน การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยค่าดัชนีความต้านแรงฉีกและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีค่าลดลงในเยื่อทั้งสองชนิด

3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์

ในส่วนของสมบัติด้านทัศนศาสตร์ พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยความขาว ระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดที่อัตราส่วน 50:50 เท่านั้น โดยแผ่นทดสอบ R2 (0:50) มีค่ามากกว่า R1 (0:50) เช่นเดียวกับกับค่าเฉลี่ยความทึบแสงที่มีความแตกต่างกันระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดที่อัตราส่วน 50:50 เท่านั้น โดยแผ่นทดสอบ R2 (0:50) มีค่ามากกว่า R1 (0:50) แต่ในส่วนของค่าเฉลี่ยความขาวสว่างและความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่าไม่มีแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยสมบัติต่างๆ ระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดในแต่ละระดับอัตราส่วนผสมเดียวกัน การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ความขาว ความขาวสว่าง ความทึบแสงมีค่าสูงขึ้นในระดับที่ใกล้เคียงกันในเยื่อทั้งสองชนิด แต่ในส่วนของความมันวาวที่มุม 75 องศา มีค่าลดลงเล็กน้อยในระดับที่ใกล้เคียงกันในเยื่อทั้งสองชนิด

4. สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทาน

พบว่าสำหรับค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที มีความแตกต่างกันระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดที่อัตราส่วน 0:100 เท่านั้น โดยแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่ามากกว่า R2 (0:100) แต่ในส่วนของค่าเฉลี่ยการพิมพ์ซึมผ่านนั้นกลับพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดในแต่ละระดับที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ลงในเยื่อใหม่จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาทีมีค่าลดลง โดยในส่วนของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) เมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่ในส่วนของค่าพิมพ์ซึมผ่านกลับมีค่าสูงขึ้นในระดับที่ใกล้เคียงกันทั้งหมดในเยื่อทั้งสองชนิด

5. สมบัติด้านพื้นผิว

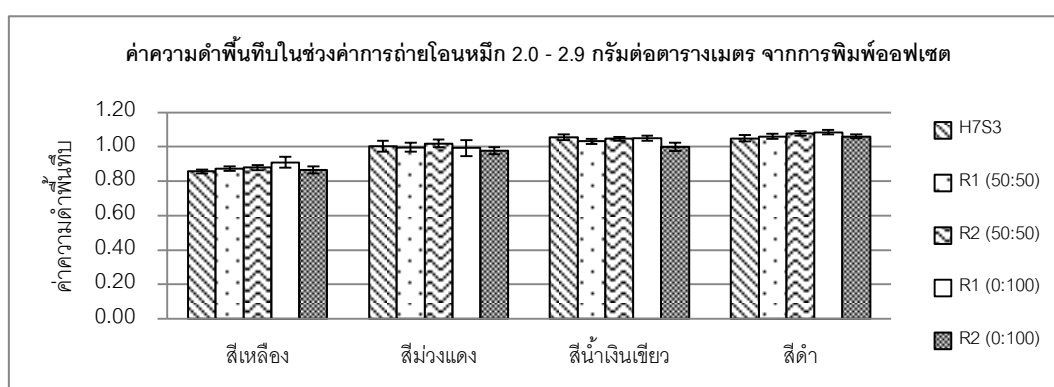
พบว่าค่าเฉลี่ยความเรียบระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดที่อัตราส่วน 0:100 เท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน โดยแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่ามากกว่า R2 (0:100) แต่ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผิวหน้านั้นกลับไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิดในแต่ละระดับที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน และพบว่า การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ความเรียบและความแข็งแรงของผิวหน้ามีค่าลดลง

โดยสรุปแล้วผลของการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ความหนาสูงขึ้น ความหนาแน่นปรากฏและความต้านทานอากาศลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดัชนีความต้านแรงฉีกและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนของสมบัติด้านทัศนศาสตร์พบว่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามสารเติมแต่งที่ตกค้างจากเยื่อเวียนทำใหม่ซึ่งส่งผลให้ค่าความขาว ความขาวสว่าง และความทึบแสงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความมันวาวที่มุม 75 องศาลดลงเล็กน้อย การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาทีมีค่าลดลงแต่การพิมพ์ซึมผ่านมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงความเรียบและความแข็งแรงของผิวหน้ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้พบว่าส่วนใหญ่แล้วสมบัติด้านต่างๆ ของแผ่นทดสอบจากเยื่อผสม R1 (50:50) กับ R2 (50:50) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นความขาวของแผ่นทดสอบ ดังนั้นจากข้อสรุปของสมบัติดังกล่าวของแผ่นทดสอบในแต่ละด้านนั้น มีทั้งความเหมือนและความแตกต่างกันในด้านต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการรับหมึกเมื่อในไปทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับกระบวนการพิมพ์ต่างๆ ต่อไป

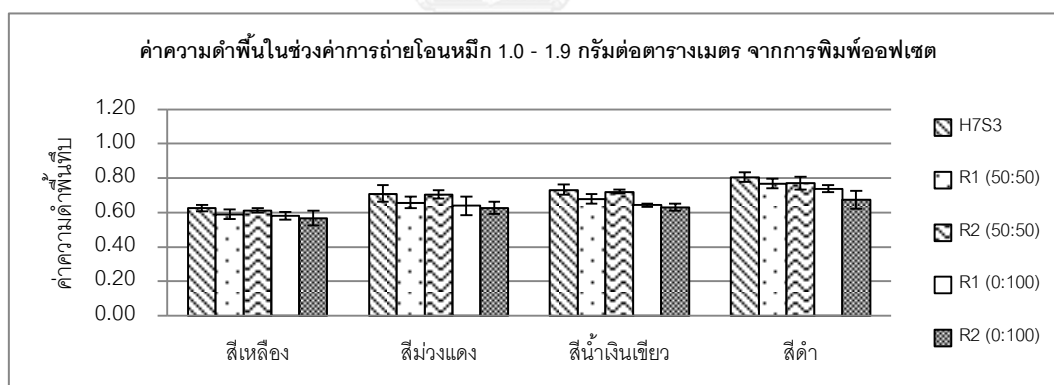
4.2.3 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์ออฟเซต

สภาพการทดสอบการพิมพ์ออฟเซตจะเป็นแบบเดียวกันกับการทดลองในตอนที่ 1 โดยจะทดสอบพิมพ์ที่ค่าการถ่ายโอนหมึกใน 2 ระดับ คือ ในช่วง 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร และ 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นลักษณะการพิมพ์โดยปล่อยหมึกให้ได้ชั้นความหนาของหมึกพิมพ์แบบหนาและแบบบางตามลำดับ

4.2.4.1 ค่าความดำพื้นที่



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-19 ค่าความดำพื้นที่จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2 ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (ก) 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร (ข) 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร

จากภาพที่ 4-19 ทดสอบพิมพ์ที่ค่าการถ่ายโอนหมึกในช่วง 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ในแต่ละสีและในแต่ละแผ่นทดสอบจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่อาจมีบางค่าที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย โดยที่ความแตกต่างนั้นไม่ได้ปรากฏเป็นลักษณะแนวโน้มหรือรูปแบบที่เด่นชัด แต่จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ในแต่ละสี ระหว่างแผ่นทดสอบ R1

(50:50) และ R2 (50:50) มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีเหลือง สีน้ำเงินเขียว และสีดำ ระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นหมึกพิมพ์สีม่วงแดงที่มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการพิมพ์ที่ค่าการถ่ายโอนหมึกในช่วง 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์แต่ละสีในแผ่นทดสอบค่อนข้างแตกต่างกัน แต่ลักษณะแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์แต่ละสีค่อนข้างคล้ายกันทั้ง 4 สี โดยค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบ H7S3 และ R2 (50:50) จะมีค่าสูงใกล้เคียงกัน รองลงมาคือแผ่นทดสอบ R1 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) ตามลำดับ

ตารางที่ 4-25 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2

ระดับการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
2.0–2.9	R1 (0:100)	R2 (50:50)	H7S3	R1 (0:100)
1.0–1.9	H7S3	H7S3, R2 (50:50)	H7S3	H7S3

จากตารางที่ 4-25 พิจารณาค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบที่มีค่าสูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพืชที่ค่าการถ่ายโอนหมึกทั้ง 2 ระดับ พบว่าค่อนข้างแตกต่างกัน โดยไม่ปรากฏแผ่นทดสอบชนิดใดชนิดหนึ่งที่สามารถรับหมึกพิมพ์โดยให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบสูงสุดเพียงชนิดเดียว เมื่อพิจารณาที่ค่าการถ่ายโอนหมึกในช่วง 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร หมึกพิมพ์สีเหลืองและสีดำมีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R1 (0:100) ส่วนหมึกพิมพ์สีม่วงแดงมีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (50:50) และหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวมีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดบนแผ่นทดสอบ H7S3 ที่ค่าการถ่ายโอนหมึกในช่วง 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร จะเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ทุกสีบนแผ่นทดสอบสูงสุด อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าหมึกพิมพ์สีม่วงแดงมีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (50:50) และหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวมีค่าความดำพื้นทึบสูงสุดบนแผ่นทดสอบ H7S3 ในช่วงการถ่ายโอนหมึกทั้ง 2 ระดับ

จากตารางที่ 4-26 ซึ่งแสดงความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ออฟเซตแต่ละสีบนแผ่นทดสอบที่ค่าการถ่ายโอนหมึก 2 ระดับ โดยเปรียบเทียบทั้งในระดับอัตราส่วนเดียวกัน และเปรียบเทียบผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ พบว่าในการเปรียบเทียบถึงความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะพบว่าในช่วงการถ่ายโอนหมึกทั้ง 2 ระดับ มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ในแต่ละสีบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ดังกล่าวนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยส่วนใหญ่ แสดงว่าสัดส่วนของเยื่อใหม่ทำใหม่ที่เติมนั้นไม่ได้มีผลต่อค่าความดำพื้นทึบ

ตารางที่ 4-26 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บิจจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2

ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
2.0–2.9	เหลือง	○	X	○	○
	ม่วงแดง	○	○	○	○
	น้ำเงินเขียว	○	X	X	○
	ดำ	○	X	○	X
1.0–1.9	เหลือง	○	○	X	○
	ม่วงแดง	○	○	○	○
	น้ำเงินเขียว	X	○	X	○
	ดำ	○	X	○	○
รวม	○	7	4	5	7
	X	1	4	3	1

หมายเหตุ ○ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บิจของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บิจของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) พบว่าในช่วงการถ่ายโอนหมึก 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร จะให้แนวโน้มของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บิจในแต่ละสีของหมึกพิมพ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยส่วนใหญ่ แต่ในช่วงการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร แนวโน้มของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บิจในแต่ละสีของหมึกพิมพ์กลับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยส่วนใหญ่ แสดงว่าการผสมระหว่างเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ที่ระดับ 50:50 ไม่ทำให้การรับหมึกพิมพ์มีความแตกต่างกันถึงแม้ว่าสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนส่งผลให้เกิดความแตกต่างเมื่อความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงขึ้น

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อผสมแต่ละชนิดกับเยื่อใหม่ พบว่าส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) จะไม่แตกต่างจากแผ่นทดสอบ H7S3 อย่างมีนัยสำคัญ ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูง ในขณะที่แผ่นทดสอบ R2 (50:50) ส่วนใหญ่จะไม่แตกต่างจากแผ่นทดสอบ H7S3 อย่างมีนัยสำคัญทั้งการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่หนาและบาง แสดงว่าโดยส่วนใหญ่แล้วสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่สูงขึ้นในแผ่นทดสอบนั้นไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างเมื่อเทียบกับเยื่อใหม่ โดยเฉพาะการพิมพ์ด้วยชั้นหมึกพิมพ์ที่หนา

เนื่องจากตารางที่ 4-26 แสดงให้เห็นถึงผลที่เปลี่ยนแปลงว่าแผ่นทดสอบมีความแตกต่าง

ระหว่างกันหรือไม่เมื่อเปรียบเทียบในด้านต่างๆ แต่ยังไม่ได้แสดงถึงระดับของแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปในภาพรวม ดังนั้นจึงได้ทำตารางที่ 4-27 ซึ่งแสดงความถี่ของการเปรียบเทียบในการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความต้านทานของหมึกพิมพ์ชุดสอดี 4 สี ระหว่างแผ่นทดสอบคู่ต่างๆ ในการพิมพ์ออฟเซต จะเห็นได้ว่าระดับของตัวเลขที่แสดงในการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งไม่ได้เป็นระดับของการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อสังเกตด้วยสายตาในการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 4-27 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความต้านทานจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2

ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3				
2.0-2.9	เหลือง	R1=R2	0.00	R1>R2	0.04	↑	0.02	↑	0.02
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.02	↓	-0.01	↑	0.02
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.05	↓	-0.02	↓	-0.01
	ดำ	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.02	↑	0.01	↑	0.03
1.0-1.9	เหลือง	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.01	↓	-0.04	↓	-0.01
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.05	R1>R2	0.01	↓	-0.05	↓	-0.01
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.04	R1>R2	0.01	↓	-0.05	↓	-0.01
	ดำ	R1=R2	0.00	R1>R2	0.06	↓	-0.04	↓	-0.04
รวม		R1>R2	0	R1>R2	8	↑	2	↑	3
		R1=R2	2	R1=R2	0	=	0	=	0
		R1<R2	6	R1<R2	0	↓	6	↓	5

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความต้านทานบนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานบนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4-27 ในการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) พบว่าเยื่อ R2 มีแนวโน้มในการรับหมึกพิมพ์ที่มากกว่าเยื่อ R1 ในทั้ง 2 ระดับของช่วงการถ่ายโอนหมึก ในขณะที่เปรียบเทียบเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) กลับพบแนวโน้มตรงกันข้าม กล่าวคือเยื่อ R1 เมื่อเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนรับหมึกพิมพ์มากกว่าเยื่อ R2 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของเยื่อในระบบส่งผลให้ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ออฟเซตของแผ่นทดสอบเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้สัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้รับหมึกพิมพ์ได้ดีกว่า

ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะสภาพของเส้นใยในระบบนั้นใกล้เคียงกันจึงทำให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอ

ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บาง การเติมเยื่อเวียนทำใหม่ลงในเยื่อใหม่จะส่งผลให้การรับหมึกพิมพ์ลดลงทั้งหมดอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อพิมพ์ด้วยชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาพบว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) ให้ผลที่ไม่แน่นอน แตกต่างกันไปในแต่ละสี แต่แผ่นทดสอบ R2 (50:50) โดยส่วนใหญ่รับหมึกพิมพ์ดีกว่าเล็กน้อย แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นอยู่ในระดับที่น้อยมาก

เมื่อพิจารณาร่วมกับผลของสัมมนาวิทยาของเส้นใยตามตารางที่ 4-17 พบว่าดัชนีการหักงอและดัชนีการโค้งงอ เยื่อ R1 มีค่าสูงกว่าเยื่อ R2 ทั้งในอัตราส่วน 50:50 และ 0:100 ในขณะที่ความยาวของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่าเยื่อ R2 แสดงให้เห็นว่าเยื่อ R2 นั้นมีสภาพที่ดีกว่าเยื่อ R1 แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติของแผ่นทดสอบ กลับพบว่าไม่ปรากฏแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เด่นชัดกับผลที่ได้ดังกล่าวในเยื่อทั้ง 2 ชนิด

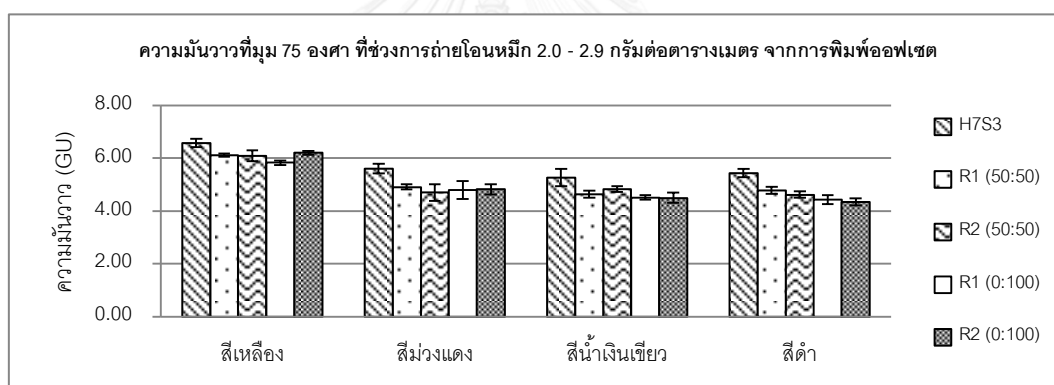
โดยสรุปแล้วในส่วนของการทดสอบการพิมพ์ออฟเซตกับแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 5 ชนิดนั้นพบว่า

1. โดยส่วนใหญ่แล้วแผ่นทดสอบ H7S3 ซึ่งผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมดจะรับหมึกพิมพ์ดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่ โดยเฉพาะเมื่อพิมพ์ด้วยความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่บาง (1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร)
2. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) พบว่าเยื่อ R2 มีแนวโน้มรับหมึกพิมพ์มากกว่าเยื่อ R1 ในทั้ง 2 ระดับของช่วงการถ่ายโอนหมึก อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่แล้วค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์แต่ละสีบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ดังกล่าวนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) พบว่าเยื่อ R1 รับหมึกพิมพ์มากกว่าเยื่อ R2
4. การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ โดยส่วนใหญ่ส่งผลให้การรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบลดลง โดยเฉพาะการพิมพ์ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บาง แต่ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูง แผ่นทดสอบ R2 (50:50) มีแนวโน้มรับหมึกพิมพ์ดีกว่าเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
5. เมื่อเปรียบเทียบแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) พบว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ R2 ส่งผลให้การรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบดีกว่าเยื่อ

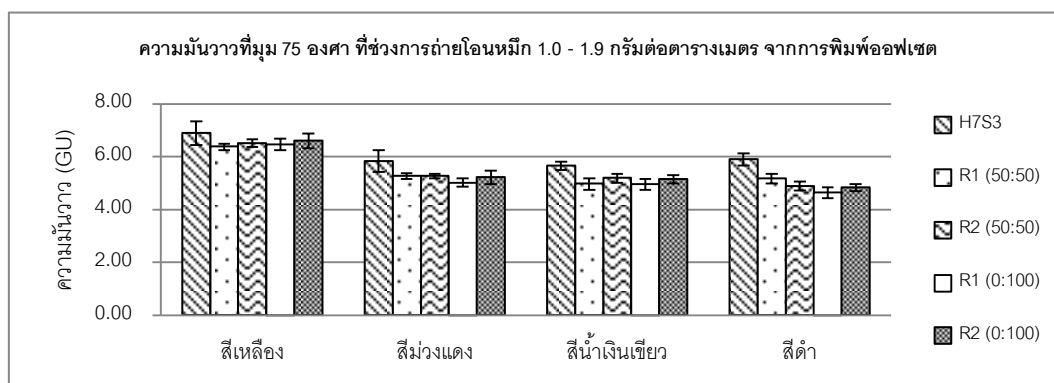
R1 และดีกว่าการเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนอย่างเดียว ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับผลของสัญญาณวิทยาของเส้นใยพบว่าสภาพของเส้นใยในเยื่อ R2 นั้นมีสภาพที่ดีกว่าเยื่อ R1 แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติของแผ่นทดสอบ พบว่าไม่ได้ปรากฏแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เด่นชัด ในทางตรงกันข้ามแผ่นทดสอบ R1 (0:100) กลับรับหมึกพิมพ์ได้ดีกว่า R2 (0:100) แสดงว่าสัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่สูงในแผ่นทดสอบเยื่อผสมช่วยให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้ดีกว่า สันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะสภาพเส้นใยที่คล้ายกันในระบบช่วยให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้สม่ำเสมอมากขึ้น

6. โดยภาพรวมแล้วแผ่นทดสอบที่ผลิตจากการผสมระหว่างเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ให้ผลการพิมพ์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่แผ่นทดสอบ R2 (50:50) มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการพิมพ์ออฟเซต

4.2.3.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-20 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2 ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (ก) 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร (ข) 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร

จากภาพที่ 4-20 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพีซีที่พิมพ์ในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 2.0–2.9 กรัมต่อตารางเมตร มีแนวโน้มค่อนข้างแตกต่างกัน โดยพบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในทุกสีของหมึกพิมพ์อย่างเห็นได้ชัดซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ จะมีค่าแตกต่างกันไปแต่ไม่ปรากฏแนวโน้มที่ชัดเจนในทางเดียวกัน ซึ่งผลดังกล่าวมีลักษณะเดียวกันกับการพิมพ์ทดสอบในช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก 1.0–1.9 กรัมต่อตารางเมตร

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4-28 ซึ่งเปรียบเทียบโดยเรียงลำดับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากสูงสุดถึงต่ำสุดบนแผ่นทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ ที่ค่าการถ่ายโอนหมึกทั้ง 2 ระดับ พบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุดในทุกสีของหมึกพิมพ์ออฟเซต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ซึ่งมีสภาพเส้นใยที่ค่อนข้างสมบูรณ์กว่าเยื่อเวียนทำใหม่นั้นมีความสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่า เนื่องจากเส้นใยสามารถแนบชิดและสร้างพันธะระหว่างเส้นใยได้ดีความเรียบของแผ่นทดสอบจึงมากกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ตามตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-28 อันดับของค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2

อันดับที่	ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	อันดับของแผ่นทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
		สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
1	2.0–2.9	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
	1.0–1.9	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
2	2.0–2.9	R2 (0:100)	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (50:50)
	1.0–1.9	R2 (0:100)	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (50:50)
3	2.0–2.9	R1 (50:50)	R2 (0:100)	R1 (50:50)	R2 (50:50)
	1.0–1.9	R2 (50:50)	R1 (50:50), R2 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (50:50)
4	2.0–2.9	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (0:100)
	1.0–1.9	R1 (0:100)	R1 (50:50), R2 (50:50)	R1 (50:50)	R2 (0:100)
5	2.0–2.9	R1 (0:100)	R2 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (0:100)
	1.0–1.9	R1 (50:50)	R1 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (0:100)

และเมื่อพิจารณาแผ่นทดสอบที่มีค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา รองลงมาในแต่ละอันดับ พบว่าในแต่ละสีจะแตกต่างกันไป ซึ่งไม่ปรากฏแนวโน้มที่ชัดเจนเช่นเดียวกันกับการทดลองในตอนต้นที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการผสมเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่นั้นไม่มีผลต่อค่าความมันวาวอย่างชัดเจนเมื่อนำไปพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซต ทั้งนี้จะสอดคล้องกับตารางที่ 4-20 ค่าเฉลี่ยความมันวาวของแผ่นทดสอบก่อนพิมพ์โดยพบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด แต่ในส่วนของแผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่า

รองลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก แสดงว่าการผสมเชื้อใหม่ด้วยเชื้อเวียนทำใหม่จะส่งผลให้ค่าความมันวาว ของหมึกพิมพ์ออฟเซตมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนของการเปรียบเทียบทางสถิติทั้งหมดเมื่อนำมาพิจารณาในลักษณะของความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์ออฟเซต ตามตารางที่ 4-29 จะสังเกตเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบภายในเชื้อที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันนั้นทั้งที่ระดับ 50:50 และ 0:100 ภายในเชื้อ R1 และ R2 นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยส่วนใหญ่ แต่ในส่วนของ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะมีความแตกต่างจาก H7S3 อย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด

ตารางที่ 4-29 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2

ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเชื้อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
2.0-2.9	เหลือง	○	X	X	X
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	○	○	X	X
1.0-1.9	เหลือง	○	○	X	X
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	X	○	X	X
รวม	○	7	7	0	0
	X	1	1	8	8

หมายเหตุ ○ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์ออฟเซตบนแผ่นทดสอบตามตารางที่ 4-30 พบว่าให้แนวโน้มที่ค่อนข้างแตกต่างกัน โดยระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ส่วนระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) นั้นส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่าความมันวาวในทั้ง 2 ช่วงการถ่ายโอนหมึกสูงกว่าเล็กน้อย ในขณะที่การผสมเชื้อใหม่ด้วยเชื้อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ค่าความมันวาวในทุกสีและทุกช่วงการถ่ายโอนหมึกมีค่าลดต่ำลง

ตารางที่ 4-30 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2

ช่วงค่าการถ่ายโอนหมึก (กรัมต่อตารางเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3				
2.0-2.9	เหลือง	R1>R2	0.02	R1<R2	-0.37	↓	-0.46	↓	-0.48
	ม่วงแดง	R1>R2	0.21	R1<R2	-0.03	↓	-0.69	↓	-0.90
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.20	R1>R2	0.01	↓	-0.63	↓	-0.43
	ดำ	R1>R2	0.17	R1>R2	0.09	↓	-0.64	↓	-0.81
1.0-1.9	เหลือง	R1<R2	-0.13	R1<R2	-0.14	↓	-0.52	↓	-0.39
	ม่วงแดง	R1=R2	0.00	R1<R2	-0.20	↓	-0.57	↓	-0.57
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.22	R1<R2	-0.19	↓	-0.69	↓	-0.47
	ดำ	R1>R2	0.28	R1<R2	-0.19	↓	-0.73	↓	-1.01
รวม		R1>R2	4	R1>R2	2	↑	0	↑	0
		R1=R2	1	R1=R2	0	=	0	=	0
		R1<R2	3	R1<R2	6	↓	8	↓	8

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

โดยสรุปแล้วในส่วนของ การทดสอบการพิมพ์ออฟเซตกับแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ และเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 5 ชนิดนั้นพบว่า

1. แผ่นทดสอบ H7S3 ซึ่งผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมด ให้ค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศา สูงสุด ในทุกสีและทุกช่วงของค่าการถ่ายโอนหมึก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่สภาพของเส้นใยนั้นดีกว่าเยื่อชนิดอื่นๆ ที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ แผ่นทดสอบจึงมีความเรียบสูงกว่า แต่เมื่อถูกผสมด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดค่าจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ
2. ภายในเยื่อที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน คือ ระหว่างคู่ของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) พบว่าค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.4 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์เพล็ทโซกราฟี

ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์เพล็ทโซกราฟีฐานน้ำนั้นจะทำการทดสอบพิมพ์กับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1 ที่ขนาดความละเอียดของแอนิลอกซ์ 4 ระดับ ได้แก่ 60 80 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.4.1 ความดำพื้นที่บ

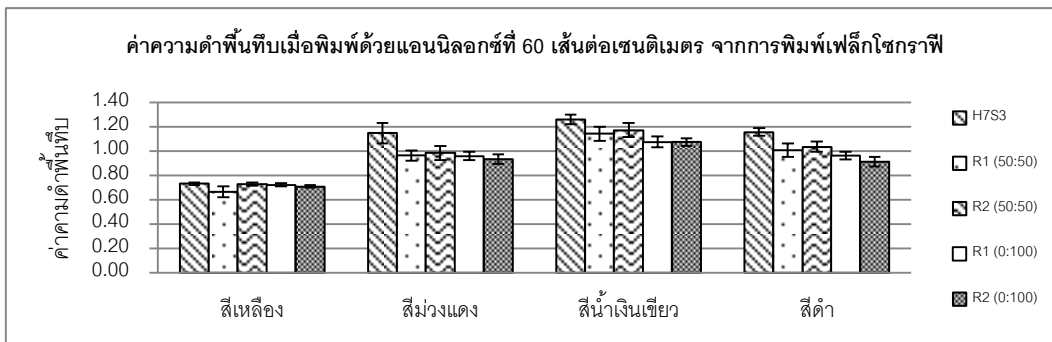
จากภาพที่ 4-21 พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบมีแนวโน้มค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกความละเอียดของแอนิลอกซ์ โดยค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บของหมึกพิมพ์ทุกสีบนแผ่นทดสอบ H7S3 จะมีค่าสูงสุด สามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บกับแผ่นทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ได้ดังนี้

หมึกพิมพ์สีเหลือง ที่ทุกความละเอียดของแอนิลอกซ์ ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บของแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเกือบทั้งหมดยกเว้นแผ่นทดสอบ R1 (50:50) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างเด่นชัด

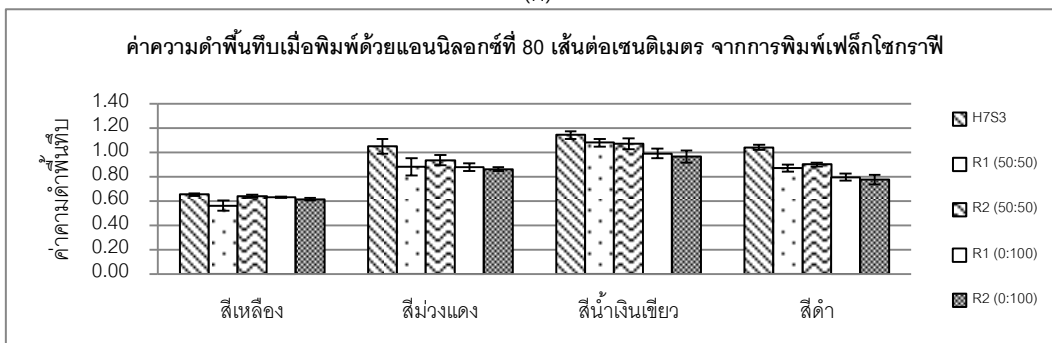
หมึกพิมพ์สีม่วงแดง เมื่อพิมพ์ด้วยแอนิลอกซ์ที่ความละเอียด 60 เส้นต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บบนแผ่นทดสอบทั้ง R1 (50:50) R2 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) ในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนการพิมพ์โดยใช้แอนิลอกซ์ที่ความละเอียด 80 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร แผ่นทดสอบ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาเป็นอันดับสอง ส่วนแผ่นทดสอบเยื่อเวียนทำใหม่อื่นๆ มีค่าต่ำกว่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน

หมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียว แผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บรองลงมาในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่ารองลงมาในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

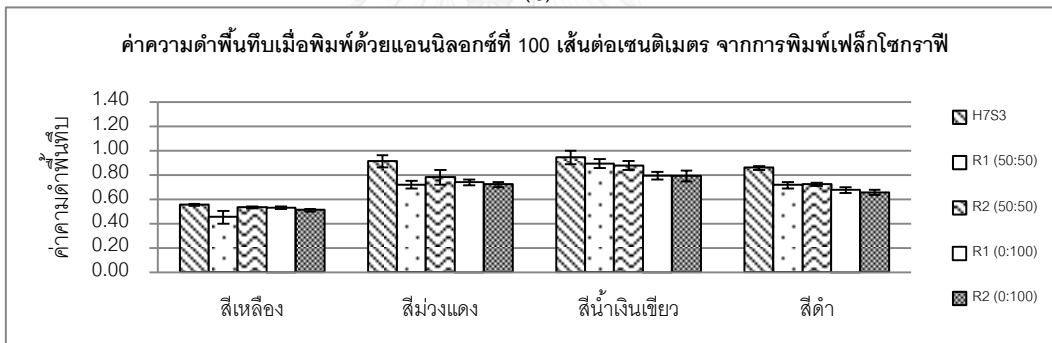
หมึกพิมพ์สีดำ แผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่ารองลงมาในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และในส่วน R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บค่ารองลงมาในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันเช่นกัน แต่ R2 (0:100) มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย



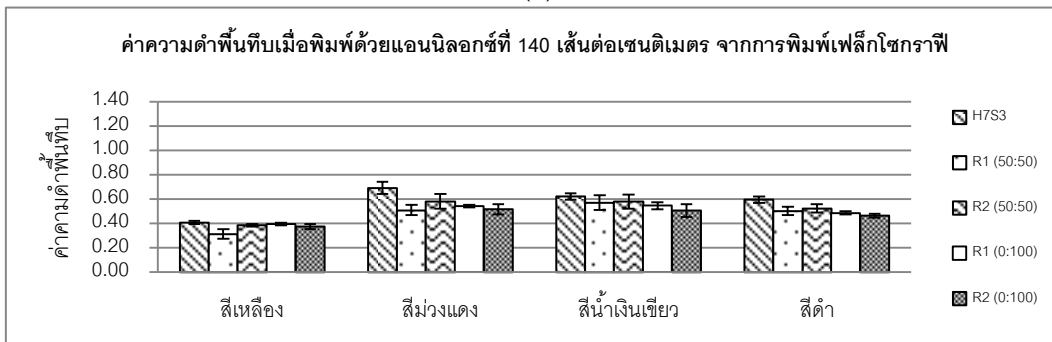
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4-21 ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลเลอร์ที่มีความละเอียด (ก) 60 (ข) 80 (ค) 100 (ง) 140 เส้นต่อเซนติเมตร

ตารางที่ 4-31 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์เพล็ทโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ความละเอียดของแอนนิลอกซ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
60	H7S3, R2 (50:50)	H7S3	H7S3	H7S3
80	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
100	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
140	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3

เมื่อพิจารณาแผ่นทดสอบที่มีความสามารถในการรับหมึกที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความดำพื้นที่สูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์เพล็ทโซกราฟีฐานน้ำตามตารางที่ 4-31 พบว่าในทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์ที่ใช้พิมพ์ แผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าความดำพื้นที่สูงสุด แสดงว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่นั้นสามารถรับหมึกดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่

ตารางที่ 4-32 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์เพล็ทโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ความละเอียด แอนนิลอกซ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
60	เหลือง	X	O	X	O
	ม่วงแดง	O	O	X	X
	น้ำเงินเขียว	O	O	X	X
	ดำ	O	O	X	X
80	เหลือง	X	O	X	O
	ม่วงแดง	O	O	X	X
	น้ำเงินเขียว	O	O	X	X
	ดำ	O	O	X	X
100	เหลือง	X	O	X	O
	ม่วงแดง	X	O	X	X
	น้ำเงินเขียว	O	O	O	X
	ดำ	O	O	O	X
140	เหลือง	X	O	X	O
	ม่วงแดง	X	O	X	X
	น้ำเงินเขียว	O	O	O	O
	ดำ	O	O	X	X
รวม	O	10	16	3	5
	X	6	0	13	11

หมายเหตุ O ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

จากตารางที่ 4-32 ซึ่งแสดงความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีแต่ละสีบนแผ่นทดสอบเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่ความละเอียด 4 ระดับ โดยเปรียบเทียบทั้งในระดับอัตราส่วนเดียวกัน และเปรียบเทียบกับเยื่อใหม่ พบว่าระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ในการพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่ความละเอียดทั้ง 4 ระดับ พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์แต่ละสีบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ดังกล่าวนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยส่วนใหญ่ ยกเว้นหมึกพิมพ์สีเหลืองเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่ความละเอียดทั้ง 4 ระดับ และหมึกพิมพ์สีม่วงแดงเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่ความละเอียด 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในทุกสีบนแผ่นทดสอบเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลลอกซ์ที่ความละเอียดทั้ง 4 ระดับนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่พบว่าโดยแล้วใหญ่แล้วให้ผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับแผ่นทดสอบ R2 (50:50) จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีเหลืองที่ทุกความละเอียดของแอนนิลลอกซ์

จากการพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4-33 เห็นระดับของแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนโดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) พบว่าแผ่นทดสอบ R2 (50:50) โดยส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดมีแนวโน้มรับหมึกพิมพ์ดีกว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) ในทุกความละเอียดของแอนนิลลอกซ์ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) กลับพบแนวโน้มที่ตรงกันข้าม คือแผ่นทดสอบ R1 (0:100) รับหมึกพิมพ์ดีกว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) แสดงให้เห็นว่าชนิดของเยื่อในระบบมีผลต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีของแผ่นทดสอบ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปในลักษณะที่คล้ายกันกับผลจากการพิมพ์ออฟเซต สันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะสภาพของเส้นใยในระบบนั้นใกล้เคียงกันจึงทำให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอ

อย่างไรก็ตามความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบ H7S3 แสดงว่าการผสมเยื่อเวียนทำใหม่มีผลต่อการลดความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบ สันนิษฐานว่าสภาพเส้นใยที่แย่งส่งผลต่อการรับหมึก การซึมผ่าน และการสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบอันเป็นผลจากการเกิดฮอริฟิเคชันซึ่งเส้นใยไม่สามารถบวมตัวได้ดีเมื่อเทียบกับเยื่อใหม่ โดยเฉพาะกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ

ตารางที่ 4-33 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงจากการพิมพ์เหล็กโครราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ความละเอียด แอนนิลอกซ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3				
60	เหลือง	R1<R2	-0.06	R1>R2	0.01	↓	-0.07	=	0.00
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.03	↓	-0.18	↓	-0.16
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.03	R1=R2	0.00	↓	-0.12	↓	-0.09
	ดำ	R1<R2	-0.03	R1>R2	0.05	↓	-0.15	↓	-0.12
80	เหลือง	R1<R2	-0.08	R1>R2	0.02	↓	-0.09	↓	-0.01
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.05	R1>R2	0.02	↓	-0.17	↓	-0.11
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.01	R1>R2	0.03	↓	-0.06	↓	-0.07
	ดำ	R1<R2	-0.03	R1>R2	0.02	↓	-0.17	↓	-0.14
100	เหลือง	R1<R2	-0.08	R1>R2	0.02	↓	-0.10	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.06	R1>R2	0.02	↓	-0.19	↓	-0.13
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.01	R1=R2	0.00	↓	-0.05	↓	-0.07
	ดำ	R1<R2	-0.01	R1>R2	0.02	↓	-0.14	↓	-0.14
140	เหลือง	R1<R2	-0.07	R1>R2	0.02	↓	-0.09	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.07	R1>R2	0.03	↓	-0.18	↓	-0.11
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.01	R1>R2	0.04	↓	-0.05	↓	-0.04
	ดำ	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.02	↓	-0.09	↓	-0.07
รวม		R1>R2	2	R1>R2	14	↑	0	↑	0
		R1=R2	0	R1=R2	2	=	0	=	1
		R1<R2	14	R1<R2	0	↓	16	↓	15

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

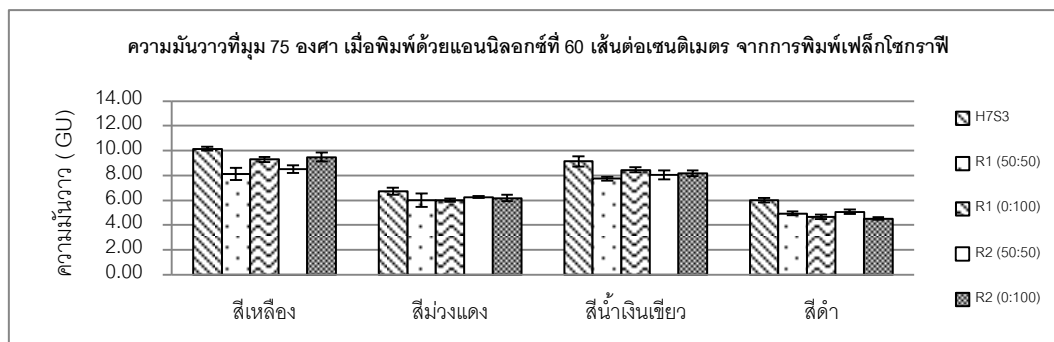
โดยสรุปแล้ว เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงในแต่ละสีบนแผ่นทดสอบของหมึกพิมพ์เหล็กโครราฟีฐานน้ำพบว่า

1. แผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงสูงสุดในหมึกพิมพ์ทุกสีและทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์ แสดงว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมดรับหมึกพิมพ์ดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่

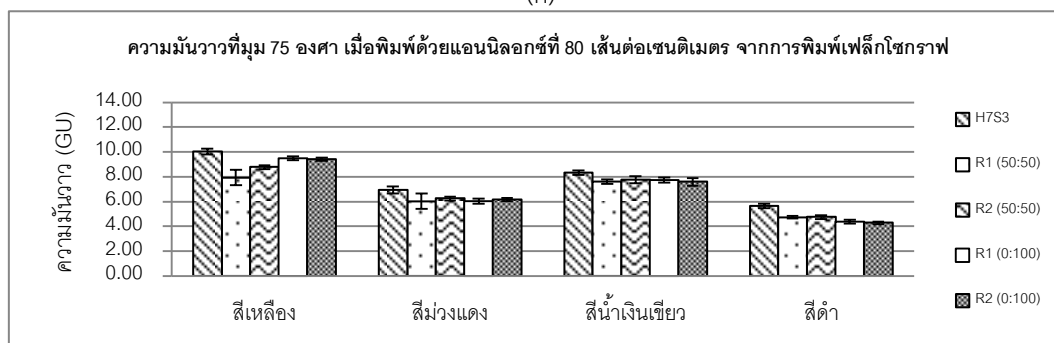
2. หมึกพิมพ์สีเหลืองให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของแผ่นทดสอบมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันเกือบทั้งหมดยกเว้นแผ่นทดสอบ R1 (50:50) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด
3. หมึกพิมพ์สีม่วงแดงให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือแผ่นทดสอบ R2 (50:50) ส่วนแผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน
4. ในส่วนของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวและสีดำพบแนวโน้มในลักษณะเหมือนกัน คือ แผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบในระดับใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบค่ารองลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
5. ในเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) พบว่า R2 (50:50) มีแนวโน้มรับหมึกพิมพ์ดีกว่า R1 (50:50) ในทุกความละเอียดของแอนนิลออกซ์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ซึ่งให้ลักษณะแนวโน้มที่ค่อนข้างคล้ายกันกับการพิมพ์ออฟเซตแต่ชัดเจนกว่า) โดยอาจเกิดจากการที่สัดส่วนของเยื่อเวียนทำใหม่ที่สูงกว่าในระบบทำให้มีความสม่ำเสมอของเส้นใยที่คล้ายกันจึงสามารถรับหมึกพิมพ์ได้สม่ำเสมอกว่า
6. ในเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) พบว่า R1 (0:100) เมื่อนำมาผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่แล้วรับหมึกพิมพ์ดีกว่า R2 (0:100) ซึ่งให้ลักษณะแนวโน้มที่คล้ายกันกับการพิมพ์ออฟเซต อย่างไรก็ตามในทุกสีของหมึกพิมพ์มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ดังกล่าวนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
7. ผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดพบว่าทำให้ค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเกิดการสภาพเส้นใยที่แย่ง
8. ในส่วนของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากการผสมระหว่างเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่พบว่าแผ่นทดสอบ R2 (50:50) มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการพิมพ์เพล็ทโซกราฟี

4.2.4.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา

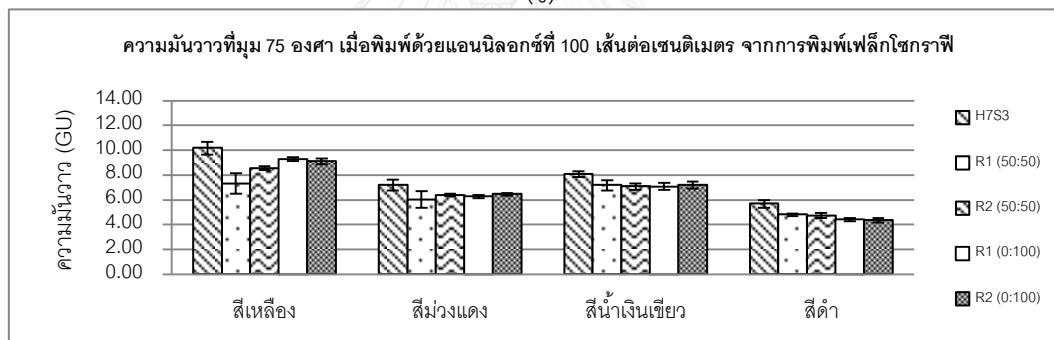
จากภาพที่ 4-22 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์เพล็ทโซกราฟีฐานน้ำเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลออกซ์ที่ความละเอียด 60 80 100 และ 140 เส้นต่อเซนติเมตร ตามลำดับ มีแนวโน้มที่ค่อนข้างแตกต่างกันในแต่ละแผ่นทดสอบและในแต่ละสี พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าเฉลี่ยความมันวาวสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในแต่ละสีของหมึกพิมพ์อย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นหมึกพิมพ์สีม่วงแดงและสีน้ำเงินเขียวเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลออกซ์ที่ความละเอียด 140 เส้นต่อเซนติเมตร แผ่นทดสอบ R1 (50:50) มีค่าสูงสุด



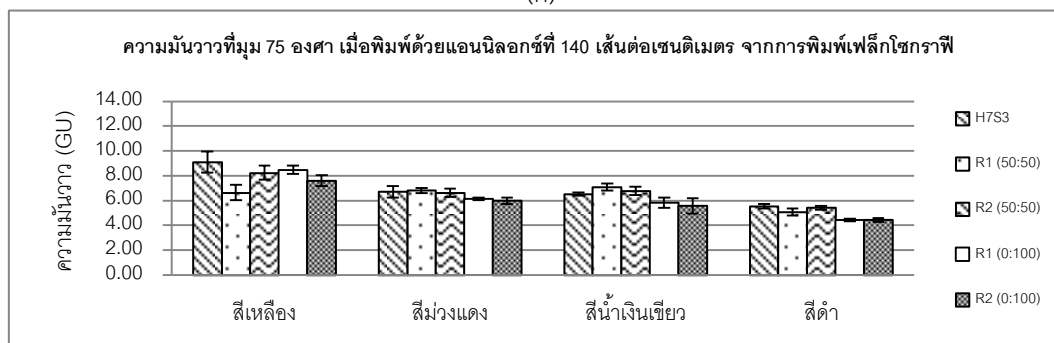
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4-22 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 เมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลเลอร์ที่มีความละเอียด (ก) 60 (ข) 80 (ค) 100 (ง) 140 เส้นต่อเซนติเมตร

การที่แผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าความมั่นคงสูงสุด ให้ผลคล้ายกันกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซต ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่มีสภาพของเส้นใยที่ดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่ จึงส่งผลแผ่นทดสอบที่ผลิตได้มีความเรียบสูงกว่า ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าความมั่นคงที่แตกต่างกัน และสังเกตไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน ตามตารางที่ 4-34 แต่อาจสังเกตได้บ้างว่าโดยส่วนใหญ่แล้วหมึกพิมพ์สีเหลืองมีการเรียงลำดับของค่าความมั่นคงที่มีค่ารองลงมาคือแผ่นทดสอบ R1 (0:100) R2 (0:100) R2 (50:50) และ R1 (50:50) ตามลำดับ สำหรับหมึกพิมพ์สีดำ คือ แผ่นทดสอบ R2 (50:50) R1 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) ตามลำดับ

ตารางที่ 4-34 อันดับค่าความมั่นคงที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์เพล็กซ์กราฟิ์ในการทดลองตอนที่ 2

อันดับที่	ความละเอียดแอนนิลอกซ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	อันดับของแผ่นทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
		สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
1	60	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
	80	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
	100	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
	140	H7S3	R1 (50:50)	R1 (50:50)	H7S3
2	60	R2 (0:100)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (50:50)
	80	R1 (0:100)	R2 (50:50)	R2 (50:50)	R2 (50:50)
	100	R1 (0:100)	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R1 (50:50)
	140	R1 (0:100)	H7S3	R2 (50:50)	R2 (50:50)
3	60	R1 (0:100)	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R1 (50:50)
	80	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (50:50)
	100	R2 (0:100)	R2 (50:50)	R1 (50:50)	R2 (50:50)
	140	R2 (50:50)	R2 (50:50)	H7S3	R1 (50:50)
4	60	R2 (50:50)	R1 (50:50), R1 (0:100)	R1 (50:50)	R1 (0:100)
	80	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R1 (50:50)	R1 (0:100)
	100	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (50:50), R1 (0:100)	R1 (0:100)
	140	R2 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (0:100)
5	60	R1 (50:50)	R1 (50:50), R1 (0:100)	R2 (50:50)	R2 (0:100)
	80	R1 (50:50)	R1 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (0:100)
	100	R1 (50:50)	R1 (50:50)	R2 (50:50), R1 (0:100)	R2 (0:100)
	140	R1 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R2 (0:100)

ตารางที่ 4-35 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบทางสถิติทั้งหมดเมื่อนำมาพิจารณาในลักษณะของความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความมั่นคงที่มุม 75 องศา ทุกความละเอียดของแอนนิลอกซ์ที่ใช้พิมพ์และในทุกสี จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบภายในเยื่อที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันนั้น

พบว่าระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) เกือบทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการเปรียบเทียบผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่พบว่าโดยส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดในแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแผ่นทดสอบ H7S3

ตารางที่ 4-35 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมึนขาวที่มุม 75 องศา การพิมพ์เพล็ทโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ความละเอียด แอนนิลลอกซ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
60	เหลือง	X	X	X	X
	ม่วงแดง	X	X	X	X
	น้ำเงินเขียว	X	X	X	X
	ดำ	X	X	X	X
80	เหลือง	X	O	X	X
	ม่วงแดง	X	X	X	X
	น้ำเงินเขียว	X	X	X	X
	ดำ	X	X	X	X
100	เหลือง	X	X	X	X
	ม่วงแดง	X	X	X	X
	น้ำเงินเขียว	X	X	X	X
	ดำ	X	X	X	X
140	เหลือง	X	O	X	X
	ม่วงแดง	X	X	O	X
	น้ำเงินเขียว	X	X	X	X
	ดำ	X	X	X	O
รวม	O	0	2	1	1
	X	16	14	15	15

หมายเหตุ O ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4-36 พบว่าให้แนวโน้มที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ในการเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) โดยพบว่าแผ่นทดสอบ R2 (50:50) ให้ค่าเฉลี่ยความมึนขาว สูงกว่า ในขณะที่การเปรียบเทียบระหว่างแผ่น

ทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) โดยส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ R1 (0:100) จะให้ค่าที่ สูงกว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่นั้นพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วให้ผลของค่าความมั่นคงที่ลดลงจากการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิด ซึ่งแนวโน้มนี้ใกล้เคียงกันกับแนวโน้มของค่าความต้านทานที่บ แสดงถึงความสามารถในการสร้างชั้นหมึกพิมพ์ปกคลุมบนแผ่นทดสอบซึ่งมีผลต่อความมั่นคงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4-36 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศา การพิมพ์เพล็ทโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ความละเอียด แอนนิลอกซ์ (เส้นต่อเซนติเมตร)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)		R1 (0:100) กับ R2 (0:100)		R1 (50:50) กับ H7S3		R2 (50:50) กับ H7S3	
60	เหลือง	R1<R2	-0.39	R1<R2	-0.19	↓	-2.02	↓	-1.63
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.26	R1<R2	-0.17	↓	-0.72	↓	-0.47
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.29	R1>R2	0.27	↓	-1.38	↓	-1.09
	ดำ	R1<R2	-0.13	R1>R2	0.13	↓	-1.07	↓	-0.93
80	เหลือง	R1<R2	-0.86	R1>R2	0.11	↓	-2.11	↓	-1.26
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.22	R1<R2	-0.11	↓	-0.90	↓	-0.68
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.14	R1>R2	0.14	↓	-0.70	↓	-0.56
	ดำ	R1<R2	-0.01	R1>R2	0.11	↓	-0.92	↓	-0.91
100	เหลือง	R1<R2	-1.22	R1>R2	0.17	↓	-2.87	↓	-1.64
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.34	R1<R2	-0.18	↓	-1.16	↓	-0.81
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.09	R1<R2	-0.12	↓	-0.91	↓	-1.00
	ดำ	R1>R2	0.06	R1>R2	0.06	↓	-0.88	↓	-0.93
140	เหลือง	R1<R2	-1.61	R1>R2	0.86	↓	-2.48	↓	-0.87
	ม่วงแดง	R1>R2	0.18	R1>R2	0.16	↑	0.10	↓	-0.08
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.31	R1>R2	0.27	↑	0.57	↑	0.26
	ดำ	R1<R2	-0.33	R1>R2	0.01	↓	-0.44	↓	-0.11
รวม		R1>R2	4	R1>R2	11	↑	2	↑	1
		R1=R2	0	R1=R2	0	=	0	=	0
		R1<R2	12	R1<R2	5	↓	14	↓	15

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความต้านทานบนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานบนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

โดยสรุปแล้วสำหรับการทดสอบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีกับแผ่นทดสอบทั้ง 5 ชนิดนั้น จะสามารถสรุปลักษณะแนวโน้มที่ปรากฏอย่างเด่นชัดของค่าความมันวาวได้ดังนี้

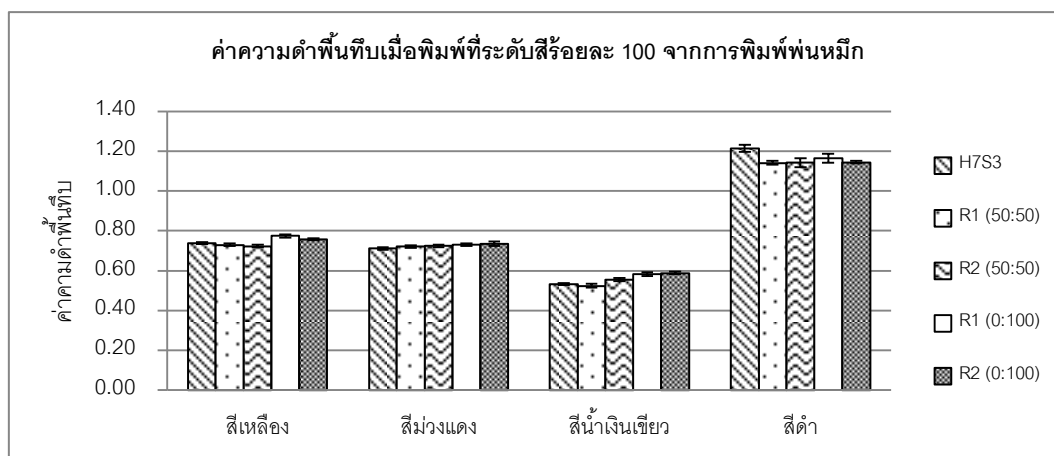
1. แผ่นทดสอบ H7S3 โดยส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดให้ค่าเฉลี่ยความมันวาว สูงสุด ยกเว้นหมึกพิมพ์สีม่วงแดงและสีน้ำเงินเขียวเมื่อพิมพ์โดยใช้แอนนิลออกซ์ที่ความละเอียด 140 เส้นต่อเซนติเมตร ที่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) มีค่าสูงสุด ซึ่งการที่แผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าสูงสุดนั้น อาจเป็นเพราะสภาพของเส้นใยมีความสมบูรณ์มากกว่าเยื่อเวียนทำใหม่จึงทำให้แผ่นทดสอบมีความเรียบสูงกว่า
2. เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนเดียวกัน พบว่าส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ R2 (50:50) ให้ค่าเฉลี่ยความมันวาวสูงกว่า R1 (50:50) ในทางตรงกันข้ามแผ่นทดสอบ R1 (0:100) ให้ค่าที่สูงกว่า R2 (0:100) เป็นส่วนใหญ่ สำหรับการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดนั้นพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วทำให้ค่าความมันวาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแนวโน้มนี้ใกล้เคียงกันกับแนวโน้มของค่าความดำพื้นที่

4.2.5 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์พ่นหมึก

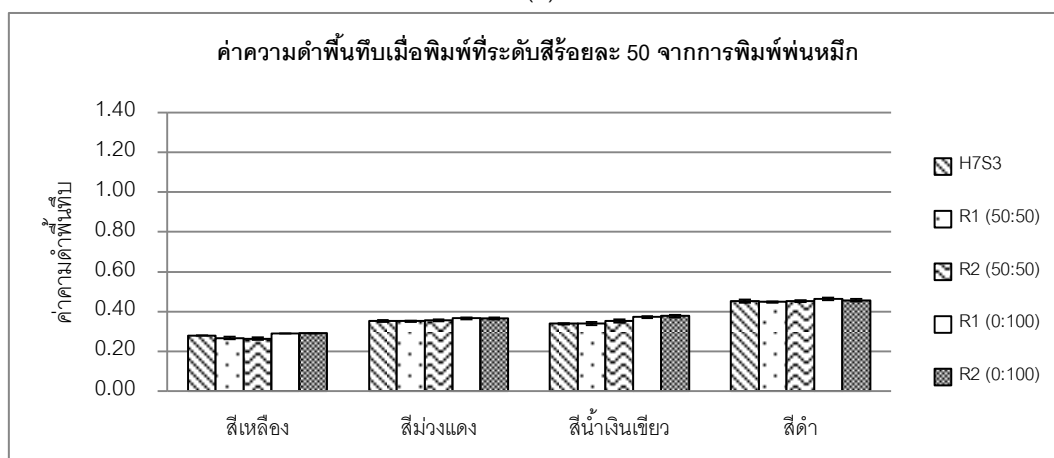
ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในขั้นตอนนี้ทดสอบโดยใช้เครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก Canon iPF6300 Printer กับแผ่นทดสอบ มีลักษณะงานพิมพ์แบบพื้นที่ทั้งหมด พิมพ์ที่ระดับสี 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ทั้ง 4 สี ได้แก่ สีเหลือง สีม่วงแดง สีน้ำเงินเขียว และสีดำ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.5.1 ความดำพื้นที่

จากภาพที่ 4-23 ทดสอบพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกที่ระดับสีร้อยละ 100 บนแผ่นทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยหมึกพิมพ์สีเหลืองจะมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดบนแผ่นทดสอบ R1 (0:100) ส่วนหมึกพิมพ์สีม่วงแดงและสีน้ำเงินเขียวมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ในขณะที่หมึกพิมพ์สีดำมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดบนแผ่นทดสอบ H7S3 สำหรับลักษณะของแนวโน้มค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบนั้นพบว่าระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับกับระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ให้ผลค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดทั้งในแบบที่มีการผสม (50:50) และในแบบที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) ความสามารถรับหมึกพิมพ์ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-23 ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2
พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

เมื่อทดสอบพิมพ์ด้วยการพิมพ์พ่นหมึกที่ระดับสีร้อยละ 50 บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดพบว่า ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีเหลือง สีม่วงแดง และสีดำ มีค่าสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) ส่วนค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวมีค่าสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (0:100) สำหรับแนวโน้มค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บบนแผ่นทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่าระหว่างแผ่นทดสอบสามชนิด ได้แก่ H7S3 R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บบนแผ่นทดสอบทั้ง R1 (0:100) กับ R2 (0:100) มีค่าสูงกว่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดทั้งในแบบที่มีการผสม (50:50) และในแบบที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วน (0:100) ทั้งเยื่อ R1 และ R2 จะให้ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 4-37 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
100	R1 (0:100)	R2 (0:100)	R2 (0:100)	H7S3
50	R1 (0:100), R2 (0:100)	R1 (0:100), R2 (0:100)	R2 (0:100)	R1 (0:100), R2 (0:100)

จากตารางที่ 4-37 เปรียบเทียบความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ได้ดีที่สุดในแผ่นทดสอบแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดของหมึกพิมพ์พ่นหมึกบนแผ่นทดสอบ พบว่าส่วนใหญ่แล้วแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนสามารถรับหมึกดีที่สุดในแง่การพิมพ์ระดับสีร้อยละ 100 แผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุด และการพิมพ์ระดับสีร้อยละ 50 แผ่นทดสอบ R2 (0:100) ก็มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดเช่นกัน และพบว่าแผ่นทดสอบ R1 (0:100) ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาว่าการพิมพ์ทั้ง 2 ระดับสี แผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงที่สุดทั้ง 2 ระดับ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติในด้านต่างๆ ของแผ่นทดสอบนั้นกลับไม่พบแนวโน้มความสัมพันธ์ที่ชัดเจน อาจเป็นไปได้ว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ซึ่งเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ล้วนยังมีส่วนของสารเติมแต่งที่หลงเหลืออยู่จึงช่วยให้รับหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกดีขึ้นเช่นเดียวกันกับแผ่นทดสอบ R1 (0:100) อีกทั้งการพิมพ์พ่นหมึกเป็นการพิมพ์แบบไร้แรงกดจึงทำให้หมึกพิมพ์ปกคลุมที่ผิวหน้าจากการสัมผัสของหยดหมึกได้โดยไม่มีแรงกดพิมพ์ จึงให้ผลที่แตกต่างไปจากการพิมพ์ออฟเซตและเพล็ทโซกราฟิ

จากตารางที่ 4-38 ความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์พ่นหมึกแต่ละสีบนแผ่นทดสอบที่ระดับสี 2 ระดับ โดยเปรียบเทียบทั้งในอัตราส่วนเดียวกันและเทียบกับเยื่อใหม่ พบว่าระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) ส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นหมึกพิมพ์สีเหลืองที่ระดับสีร้อยละ 100 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง R1 (50:50) กับ H7S3 พบว่าให้แนวโน้มที่ไม่ชัดเจน แต่โดยส่วนใหญ่จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 50 แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในการพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบความถี่ดังกล่าวข้างต้นร่วมกับตารางที่ 4-39 ความถี่ของการเปรียบเทียบในการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบคู่ต่างๆ ของหมึกพิมพ์พ่นหมึก พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดจะไม่เด่นชัดและมีระดับการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก

ตารางที่ 4-38 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	O	X	X	X
	ม่วงแดง	O	O	O	X
	น้ำเงินเขียว	X	O	O	X
	ดำ	O	O	X	X
50	เหลือง	O	O	X	X
	ม่วงแดง	O	O	O	O
	น้ำเงินเขียว	X	O	O	X
	ดำ	O	O	O	O
รวม	O	6	7	5	2
	X	2	1	3	6

หมายเหตุ O ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 4-39 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บึงจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	R1>R2	0.01	R1>R2	0.02	↓	-0.01	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1=R2	0.00	R1<R2	-0.01	↑	0.01	↑	0.01
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.03	R1<R2	-0.01	↓	-0.01	↑	0.02
	ดำ	R1=R2	0.00	R1>R2	0.02	↓	-0.07	↓	-0.07
50	เหลือง	R1=R2	0.00	R1=R2	0.00	↓	-0.01	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1=R2	0.00	R1=R2	0.00	=	0.00	=	0.00
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.01	R1=R2	0.00	=	0.00	↑	0.01
	ดำ	R1=R2	0.00	R1>R2	0.01	=	0.00	=	0.00
รวม	R1>R2	1	R1>R2	3	↑	1	↑	3	
	R1=R2	5	R1=R2	3	=	3	=	2	
	R1<R2	2	R1<R2	2	↓	4	↓	3	

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความดำพื้นที่บึงบนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

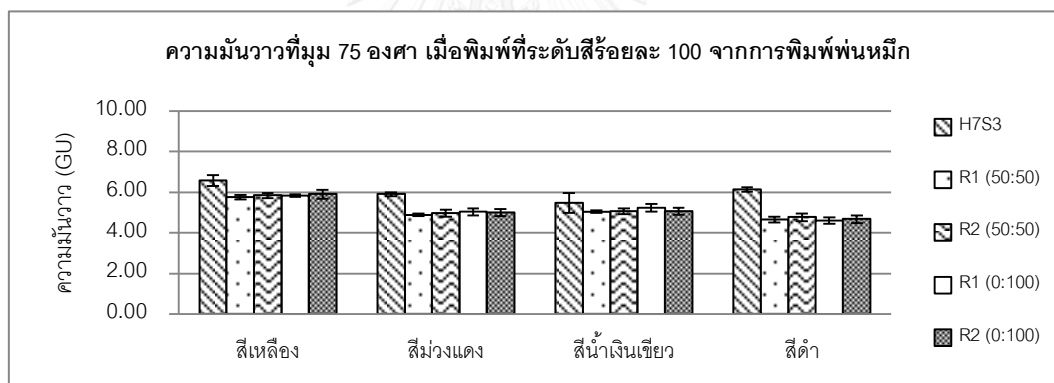
(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความดำพื้นที่บึงบนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

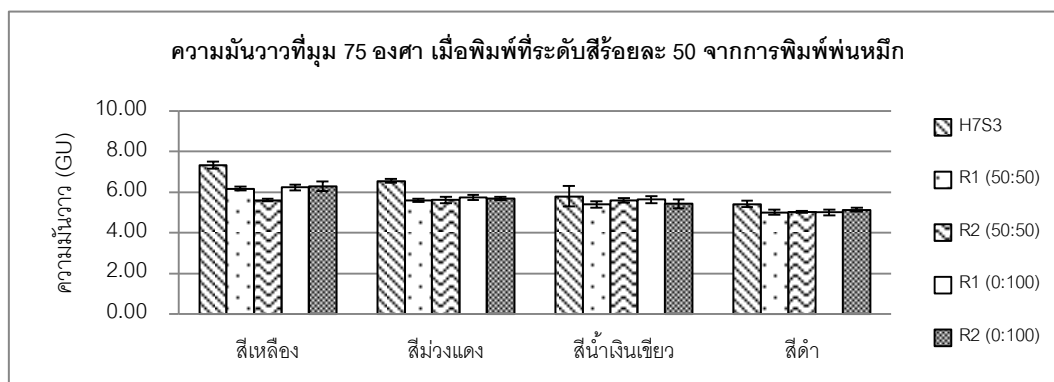
โดยสรุปแล้วสำหรับการทดสอบการพิมพ์พ่นหมึกกับแผ่นทดสอบทั้ง 5 ชนิดนั้น สามารถสรุปลักษณะแนวโน้มของค่าความดำพื้นที่ ได้ดังนี้

1. แผ่นทดสอบ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ซึ่งผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งหมดให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดซึ่งอาจเป็นผลมาจากสารเติมแต่งที่หลงเหลืออยู่จึงช่วยให้รับหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกได้ดี
2. การเปรียบเทียบที่อัตราส่วนเดียวกันในแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) พบว่าไม่ปรากฏแนวโน้มของความแตกต่างอย่างเด่นชัด แผ่นทดสอบโดยส่วนใหญ่แล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. การผสมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิด พบว่าให้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เด่นชัดและเกิดขึ้นในระดับที่น้อยมาก ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าการพิมพ์พ่นหมึกเป็นการพิมพ์แบบไร้แรงกด จึงทำให้หมึกพิมพ์ปกคลุมที่ผิวหน้าตามลักษณะของพื้นผิวและรูพรุนบนแผ่นทดสอบ

4.2.5.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-24 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2 พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

จากภาพที่ 4-24 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกเมื่อพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 พบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าเฉลี่ยความมันวาวสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในทุกสีของหมึกพิมพ์อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก เมื่อนำผลการทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์มาทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) R2 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบ H7S3 กับแผ่นทดสอบอื่นๆ ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 4-40 พบว่าแผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าความมันวาวสูงสุด ในทุกสีและทุกระดับสีที่พิมพ์ ซึ่งแนวโน้มคล้ายกันกับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพืช การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฟลักโซกราฟีฐานน้ำ และการพิมพ์พ่นหมึก ซึ่งเป็นไปได้ว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่นั้นมีสภาพของเส้นใยที่ดีกว่าเยื่อเวียนทำใหม่ จึงส่งผลให้มีความสามารถสะท้อนแสงแบบตรงได้ดีกว่า จึงส่งผลให้ค่าความมันวาวมีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อเวียนทำใหม่ สำหรับการเปรียบเทียบทางสถิติทั้งหมดเมื่อนำมาพิจารณาในลักษณะของความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ทุกความละเอียดของระดับสีที่พิมพ์และในทุกสีของหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึก ตามตารางที่ 4-41 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบภายในเยื่อเวียนทำใหม่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันทั้งที่ระดับ 50:50 และ 0:100 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิดนั้น ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเยื่อใหม่ อีกทั้งเมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4-42 พบว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิดนั้น ส่งผลให้ค่าความมันวาวที่ลดลง

ตารางที่ 4-40 อันดับของค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2

อันดับที่	ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	อันดับของแผ่นทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
		สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
1	100	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
	50	H7S3	H7S3	H7S3	H7S3
2	100	R2 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (0:100)	R2 (50:50)
	50	R2 (0:100)	R1 (0:100)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
3	100	R2 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R2 (0:100)
	50	R1 (0:100)	R2 (0:100)	R2 (50:50)	R2 (50:50)
4	100	R1 (0:100)	R2 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (50:50)
	50	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R2 (0:100)	R1 (50:50)
5	100	R1 (50:50)	R1 (50:50)	R1 (50:50)	R1 (0:100)
	50	R1 (0:100)	R1 (50:50)	R1 (50:50)	R1 (0:100)

ตารางที่ 4-41 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	○	○	X	X
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	○	○	X	X
50	เหลือง	○	○	X	X
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	○	○	X	X
รวม	○	8	8	0	0
	X	0	0	8	8

หมายเหตุ ○ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 4-42 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	R1<R2	-0.10	R1<R2	-0.07	↓	-0.83	↓	-0.73
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.08	R1>R2	0.03	↓	-1.02	↓	-0.94
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.01	R1>R2	0.17	↓	-0.43	↓	-0.42
	ดำ	R1<R2	-0.11	R1<R2	-0.07	↓	-1.48	↓	-1.37
50	เหลือง	R1>R2	0.57	R1<R2	-0.07	↓	-1.16	↓	-1.72
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.01	R1>R2	0.03	↓	-0.94	↓	-0.93
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.20	R1>R2	0.20	↓	-0.40	↓	-0.20
	ดำ	R1<R2	-0.02	R1<R2	-0.13	↓	-0.41	↓	-0.39
รวม		R1>R2	7	R1>R2	4	↑	0	↑	0
		R1=R2	0	R1=R2	0	=	0	=	0
		R1<R2	1	R1<R2	4	↓	8	↓	8

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

โดยสรุปแล้วสำหรับการทดสอบการพิมพ์พ่นหมึกกับแผ่นทดสอบทั้ง 5 ชนิดนั้น จะสามารถสรุปลักษณะแนวโน้มที่ปรากฏอย่างเด่นชัดของค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ได้ดังนี้

1. แผ่นทดสอบ H7S3 ซึ่งผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมดนั้น ให้ค่าเฉลี่ยความมันวาวสูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่สภาพของเส้นใยของ H7S3 นั้นมีความสมบูรณ์มากกว่าเยื่อชนิดอื่นๆ ที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ จึงส่งผลให้แผ่นทดสอบมีความเรียบสูงกว่า แต่ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่าความดำพื้นที่บ
2. การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกทั้งที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ให้ผลของค่าความมันวาวคล้ายกันในทุกสีของหมึกพิมพ์ โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแผ่นทดสอบจากเยื่อเวียนทำใหม่ คือ R1 (50:50) R2(50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100)
3. การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดส่งผลให้ค่าความมันวาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

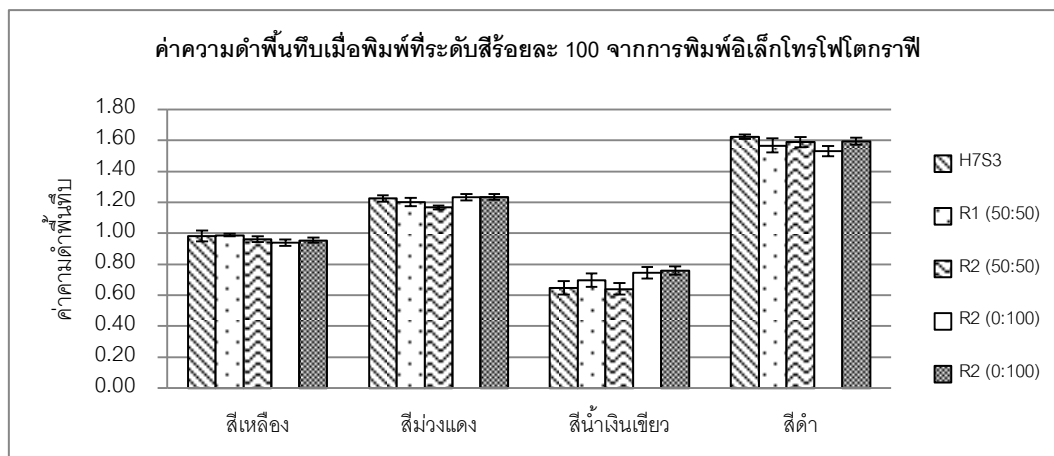
4.2.6 ผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี

ในการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในขั้นตอนนี้จะทดสอบโดยใช้เครื่องถ่ายสำเนา FUJI XEROX Document Centre C450 กับแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นกระบวนการพิมพ์แบบการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีที่ใช้หมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์โดยมีลักษณะงานพิมพ์แบบพื้นที่ทั้งหมด ทำการพิมพ์ที่ระดับสี 2 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 100 และร้อยละ 50 ทั้ง 4 สี ได้ผลการทดลองดังนี้

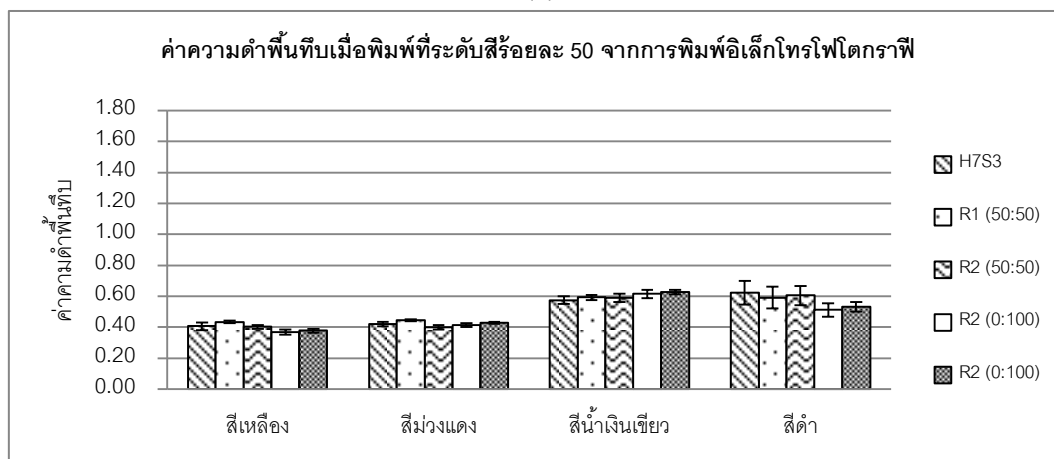
4.2.6.1 ความดำพื้นที่บ

จากภาพที่ 4-25 ทดสอบพิมพ์ด้วยการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีที่ระดับสีร้อยละ 100 บนแผ่นทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บค่อนข้างแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละแผ่นทดสอบ โดยหมึกพิมพ์สีเหลืองจะมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R1 (50:50) ส่วนหมึกพิมพ์สีม่วงแดงมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดบนแผ่นทดสอบ H7S3 R1 (0:100) และ R2 (0:100) ในระดับที่เท่ากัน ส่วนหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ในขณะที่หมึกพิมพ์สีดำมีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดบนแผ่นทดสอบ H7S3 แต่อย่างไรก็ตามพบว่าลักษณะแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บบนแผ่นทดสอบนั้นไม่เด่นชัด

เมื่อทดสอบพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 50 พบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บในแต่ละสีของหมึกพิมพ์ค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่มีแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย โดยค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บของหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงมีค่าสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R1 (50:50) หมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวจะมีค่าสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ในขณะที่หมึกพิมพ์สีดำมีค่าสูงสุดบนแผ่นทดสอบ R2 (50:50) อย่างไรก็ตามพบว่าลักษณะแนวโน้มของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บบนแผ่นทดสอบนั้นไม่ปรากฏเด่นชัด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-25 ค่าความดำพื้นที่บจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

จากตารางที่ 4-43 เปรียบเทียบความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ได้ดีที่สุดในแผ่นทดสอบแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุดของหมึกพิมพ์แบบโทเนอร์บนแผ่นทดสอบพบว่าไม่ปรากฏแนวโน้มที่เด่นชัด แต่ในส่วนของหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงนั้นให้ผลในลักษณะเดียวกันในระดับสีที่พิมพ์ทั้ง 2 ระดับ โดยหมึกพิมพ์สีเหลืองนั้นพบว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) มีให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุด ส่วนหมึกพิมพ์สีม่วงแดงนั้นพบว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงสุด

ตารางที่ 4-43 แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ์ในการทดลอง
ตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	แผ่นทดสอบที่มีค่าความดำพื้นที่สูงสุดในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
	สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
100	R1 (50:50)	H7S3, R1 (0:100), R2 (0:100)	R2 (0:100)	H7S3
50	R1 (50:50)	R1 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (50:50)

ตารางที่ 4-44 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ์ในการ
ทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	○	○	○	○
	ม่วงแดง	X	○	○	X
	น้ำเงินเขียว	X	○	○	○
	ดำ	○	X	X	○
50	เหลือง	X	○	X	○
	ม่วงแดง	X	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	○	○
	ดำ	○	○	○	○
รวม	○	4	7	5	6
	X	4	1	3	2

หมายเหตุ ○ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

จากตารางที่ 4-44 ความถี่ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์แต่ละสีบนแผ่นทดสอบที่ระดับสี 2 ระดับ โดยเปรียบเทียบทั้งในอัตราส่วนเดียวกันและในการเปรียบเทียบกับเยื่อใหม่ พบว่าความแตกต่างระหว่าง R1 (50:50) กับ R1 (50:50) ให้แนวโน้มที่ไม่เด่นชัด และการเปรียบเทียบระหว่างคู่อื่นๆ ส่วนใหญ่ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณารางที่ 4-45 พบว่าส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) ให้ค่าความดำพื้นที่สูงกว่า R2 (50:50) ในขณะที่แผ่นทดสอบ R2 (0:100) ให้ค่าความดำพื้นที่สูงกว่า R1 (0:100) ซึ่งเป็นไปในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับการพิมพ์ออฟเซตและเพล็ทโซกราฟิ์ที่พบว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่าสูงกว่า R1 (50:50) และแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่าสูงกว่า R2 (0:100)

ตารางที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)		R1 (0:100) กับ R2 (0:100)		R1 (50:50) กับ H7S3		R2 (50:50) กับ H7S3	
100	เหลือง	R1>R2	0.03	R1<R2	-0.02	↑	0.01	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1>R2	0.03	R1=R2	0.00	↑	0.55	↓	-0.06
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.06	R1<R2	-0.01	↑	0.05	↓	-0.01
	ดำ	R1<R2	-0.02	R1<R2	-0.07	↓	-0.06	↓	-0.03
50	เหลือง	R1>R2	0.03	R1<R2	-0.01	↑	0.03	↓	-0.01
	ม่วงแดง	R1>R2	0.05	R1<R2	-0.01	↑	0.05	↓	-0.01
	น้ำเงินเขียว	R1=R2	0.00	R1<R2	-0.01	=	0.00	↓	-0.01
	ดำ	R1<R2	-0.01	R1<R2	-0.02	↓	-0.01	↓	-0.02
รวม		R1>R2	6	R1>R2	0	↑	5	↑	0
		R1=R2	0	R1=R2	1	=	1	=	0
		R1<R2	2	R1<R2	7	↓	2	↓	8

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

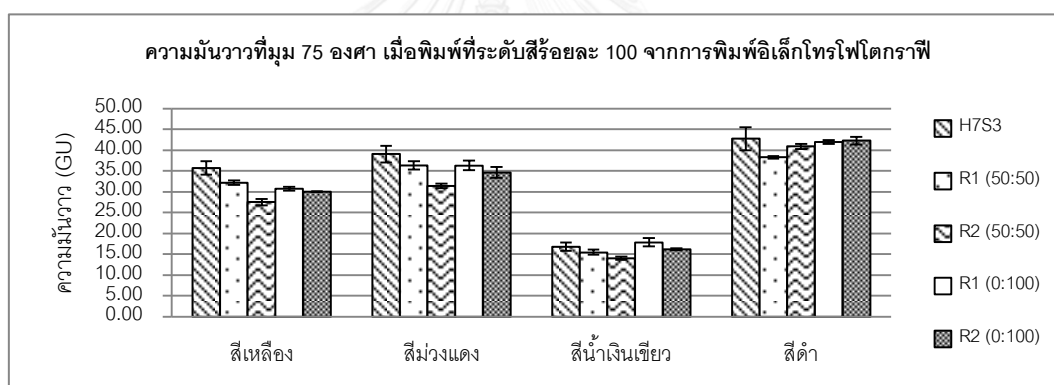
เมื่อพิจารณาพร้อมกับสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ เช่น ความเรียบของแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ต่ำกว่า R1 (0:100) และความเรียบของ R2 (50:50) ต่ำกว่า R1 (50:50) ส่วนการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาทีและการพิมพ์ซึมผ่านใน R2 (0:100) ต่ำกว่า R1 (0:100) แต่ระหว่าง R1 (50:50) และ R2 (50:50) มีค่าใกล้เคียงกัน จะพบว่าไม่ได้มีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดในทิศทางเดียวกันกับผลการพิมพ์ทั้งหมดนี้

การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ ส่วนใหญ่ส่งผลให้มีค่าความดำพื้นที่สูงขึ้นใน R1 (50:50) และมีค่าต่ำลงใน R2 (0:100) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นในระดับที่น้อยมากและส่วนใหญ่ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

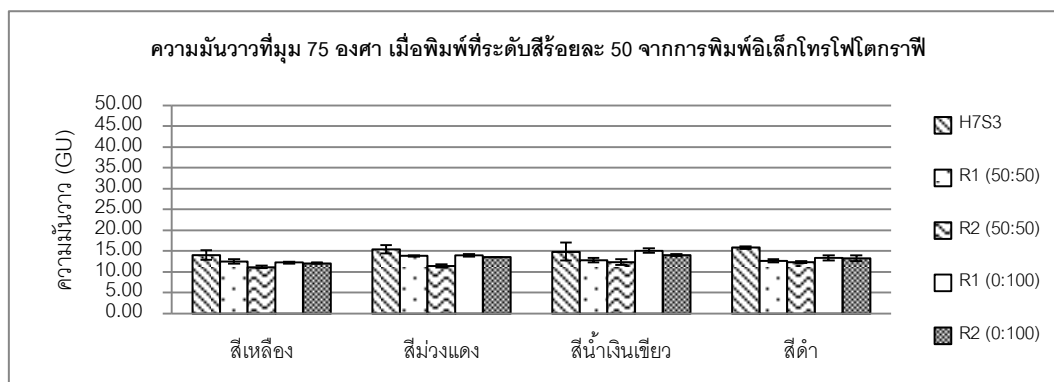
สำหรับการทดสอบการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีกับแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 5 ชนิด สามารถสรุปแนวโน้มของค่าความดำพื้นที่ได้ดังนี้

1. ไม่ปรากฏแนวโน้มเด่นชัดของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดของหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์ที่สัมพันธ์กับชนิดของแผ่นทดสอบ แต่พบว่าในส่วนของหมึกพิมพ์สีเหลืองและสีม่วงแดงนั้นให้ผลในลักษณะเดียวกันในระดับสีที่พิมพ์ทั้ง 2 ระดับ โดยหมึกพิมพ์สีเหลืองนั้นพบว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) มีให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุด ส่วนหมึกพิมพ์สีม่วงแดงนั้นพบว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุด
2. ในการเปรียบเทียบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) จะให้ลักษณะแนวโน้มโดยส่วนใหญ่ที่ไม่เด่นชัด แต่ในส่วนของแผ่นทดสอบคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) พบว่าโดยใหญ่นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิด โดยส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะหมึกพิมพ์โทนเนอร์สามารถปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้ดี

4.2.6.2 ความมันวาวที่มุม 75 องศา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-26 ค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา จากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองตอนที่ 2 พิมพ์ที่ระดับสี (ก) ร้อยละ 100 (ข) ร้อยละ 50

จากภาพที่ 4-26 ค่าความมั่นคงที่มุม 75 องศา ของหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์สำหรับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 พบว่าค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่ทั้ง 2 ระดับสีที่พิมพ์พบว่าให้แนวโน้มค่อนข้างคล้ายกัน ซึ่งเรียงลำดับค่าเฉลี่ยความมั่นคงได้ตามตารางที่ 4-46 พบว่าส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าความมั่นคงสูงสุดในแต่ละสีและแต่ละระดับสีที่พิมพ์ ยกเว้นหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวที่แผ่นทดสอบ R1 (0:100) ให้ค่าสูงสุด อย่างไรก็ตามพบว่าแผ่นทดสอบทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าหมึกพิมพ์สามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ได้เรียบบนแผ่นทดสอบดังกล่าว นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นได้ว่าลำดับของค่าความมั่นคงของหมึกพิมพ์แต่ละสีในแต่ละระดับสีที่พิมพ์นั้นเหมือนกัน ยกเว้นหมึกพิมพ์สีดำ แสดงให้เห็นว่าความมั่นคงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการสะท้อนของชั้นหมึกพิมพ์ ซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์ในแต่ละสีที่ปกคลุมบนแผ่นทดสอบในรูปแบบที่ค่อนข้างเฉพาะ ส่วนหมึกพิมพ์สีดำถึงแม้ว่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่การพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 50 บนแผ่นทดสอบที่อัตราส่วนเดียวกันนั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ ระหว่างคู่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-46 อันดับของค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศา การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองตอนที่ 2

อันดับที่	ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	อันดับของแผ่นทดสอบในแต่ละสีของหมึกพิมพ์			
		สีเหลือง	สีม่วงแดง	สีน้ำเงินเขียว	สีดำ
1	100	H7S3	H7S3	R1 (0:100)	H7S3
	50	H7S3	H7S3	R1 (0:100)	H7S3
2	100	R1 (50:50)	R1 (0:100)	H7S3	R2 (0:100)
	50	R1 (50:50)	R1 (0:100)	H7S3	R1 (0:100)
3	100	R1 (0:100)	R1 (50:50)	R2 (0:100)	R1 (0:100)
	50	R1 (0:100)	R1 (50:50)	R2 (0:100)	R2 (0:100)
4	100	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R1 (50:50)	R2 (50:50)
	50	R2 (0:100)	R2 (0:100)	R1 (50:50)	R1 (50:50)
5	100	R2 (50:50)	R2 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (50:50)
	50	R2 (50:50)	R2 (50:50)	R2 (50:50)	R2 (50:50)

จากตารางที่ 4-47 เปรียบเทียบภายในเยื่อที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) ที่ระดับสีร้อยละ 100 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยส่วนใหญ่ ในขณะที่การพิมพ์ระดับสีร้อยละ 50 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยส่วนใหญ่ ส่วนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นหมึกพิมพ์สีดำที่ระดับร้อยละ 100 แต่เมื่อพิจารณาผลของการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 2 ชนิดพบว่าโดยส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น R2 (50:50) ที่ระดับสีร้อยละ 100

ตารางที่ 4-47 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศา การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเชื้อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	X	O	X	X
	ม่วงแดง	X	O	X	X
	น้ำเงินเขียว	O	O	X	X
	ดำ	X	X	X	O
50	เหลือง	X	O	X	X
	ม่วงแดง	O	O	X	X
	น้ำเงินเขียว	O	O	X	X
	ดำ	O	O	X	X
รวม	O	4	7	0	1
	X	4	1	8	7

หมายเหตุ O ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศาจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 2

ระดับสีที่พิมพ์ (ร้อยละ)	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเชื้อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
100	เหลือง	R1>R2	4.64	R1>R2	0.67	↓	-3.58	↓	-8.22
	ม่วงแดง	R1>R2	4.88	R1>R2	1.67	↓	-2.70	↓	-7.58
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	1.40	R1>R2	1.60	↓	-1.31	↓	-2.71
	ดำ	R1<R2	-2.58	R1<R2	-0.33	↓	-4.43	↓	-1.86
50	เหลือง	R1>R2	1.29	R1>R2	0.10	↓	-1.62	↓	-2.91
	ม่วงแดง	R1>R2	2.39	R1>R2	0.50	↓	-1.55	↓	-3.94
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.41	R1>R2	1.03	↓	-2.09	↓	-2.50
	ดำ	R1>R2	0.29	R1>R2	0.03	↓	-3.20	↓	-3.49
รวม		R1>R2	7	R1>R2	7	↑	0	↑	0
		R1=R2	0	R1=R2	0	=	0	=	0
		R1<R2	1	R1<R2	1	↓	8	↓	8

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเชื้อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเชื้อเวียนทำใหม่กับเชื้อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงของความมั่นคงที่มุม 75 องศา พบว่า ให้แนวโน้มที่ค่อนข้างคล้ายกัน โดยในการเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) ส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) จะให้ค่าเฉลี่ยความมั่นคงมากกว่า ในขณะที่การเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) พบแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติความเรียบของแผ่นทดสอบที่ทั้ง R1 (50:50) และ R1 (0:100) มีค่าสูงกว่า จึงทำให้รับหมักพิมพ์ได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิมพ์ด้วยหมักพิมพ์โทนเนอร์สีดำที่ระดับสีร้อยละ 100 จะให้ผลในทางตรงกันข้าม ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมบัติความเรียบ และการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดส่งผลให้ค่าความมั่นคงลดลงทั้งหมด

สำหรับการทดสอบการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่และเยื่อเวียนทำใหม่ทั้ง 5 ชนิดนั้น สามารถสรุปลักษณะแนวโน้มของค่าความมั่นคงที่มุม 75 องศา ได้ดังนี้

1. โดยส่วนใหญ่แผ่นทดสอบ H7S3 ซึ่งผลิตจากเยื่อใหม่ทั้งหมดให้ค่าเฉลี่ยความมั่นคงสูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่สภาพของเส้นใยนั้นมีความสมบูรณ์มากกว่าเยื่อชนิดอื่นๆ ที่เป็นเยื่อเวียนทำใหม่ จึงทำให้แผ่นทดสอบมีความเรียบสูงกว่า
2. การพิมพ์ด้วยหมักพิมพ์แบบโทนเนอร์ทั้งที่ระดับสีร้อยละ 100 และร้อยละ 50 บนแผ่นทดสอบที่อัตราส่วนเดียวกัน บนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) และ R2 (50:50) และแผ่นทดสอบคู่ R1 (0:100) และ R2 (0:100) จะพบแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน โดยส่วนใหญ่แผ่นทดสอบที่มีเยื่อ R1 จะให้ผลของค่าความมั่นคงมากกว่าแผ่นทดสอบที่มีเยื่อ R2 ซึ่งอาจเป็นเพราะเยื่อ R1 มีสัดส่วนของเยื่อที่มีสภาพเส้นใยที่ดีกว่าภายหลังจากการนำมาทำเป็นเยื่อเวียนทำใหม่
3. การเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดส่งผลให้ค่าความมั่นคงมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.7 ผลการเปรียบเทียบลักษณะแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ก่อนและหลังการพิมพ์ โดยแผ่นทดสอบที่ถูกถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเป็นแผ่นทดสอบที่ถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีดำในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์ เนื่องจากงานพิมพ์โดยทั่วไปจะมีสัดส่วนของการใช้หมึกพิมพ์สีดำมากกว่าหมึกพิมพ์สีอื่นๆ โดยใช้แผ่นทดสอบที่ถูกพิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุดตามตารางที่ 4-19 เช่นเดียวกันกับการทดลองตอนที่ 1 เพื่อให้สามารถพิจารณาแผ่นทดสอบที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สูงสุดเหมือนกัน และในการถ่ายภาพแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จะถ่ายภาพเฉพาะบริเวณผิวหน้าของแผ่นทดสอบบริเวณรอยต่อที่กึ่งกลางของภาพระหว่างบริเวณพื้นที่ที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุม (ด้านซ้าย) กับบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีหมึกปกคลุม (ด้านขวา) ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า เช่นเดียวกันกับการทดลองตอนที่ 1

4.2.7.1 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบที่ผิวหน้าหลังการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ในการวิเคราะห์ลักษณะผิวหน้าแผ่นทดสอบหลังการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนแผ่นทดสอบ 4 ชนิด ตามภาพที่ 4-27 ถึงภาพที่ 4-34 ซึ่งเป็นการพิมพ์ที่ด้านสัทพลาดของแผ่นทดสอบทั้งหมด โดยแบ่งพื้นที่ด้านซ้ายของภาพเป็นพื้นที่ที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุม และพื้นที่ด้านขวาของภาพเป็นพื้นที่ที่ไม่มีหมึกพิมพ์ปกคลุม และในอีกลักษณะหนึ่งจะถ่ายภาพเฉพาะในบริเวณที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุมที่กำลังขยาย 500 เท่า โดยภาพถ่ายทั้งหมดดังกล่าวจะถูกวิเคราะห์ร่วมกับผลการทดลองอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพเส้นใย สมบัติของแผ่นทดสอบ และการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ โดยแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อตามกระบวนการพิมพ์ ดังนี้

(1) การพิมพ์ออฟเซต

พิจารณาจากภาพที่ 4-27 และ 4-28 ภายใต้กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ พบว่าตรงบริเวณด้านขวาของภาพที่ไม่มีหมึกพิมพ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) และ R2 (50:50) จะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของพื้นผิวโดยทั่วไปค่อนข้างคล้ายกันมีหลุมหรือช่องว่างที่เกิดจากการสานกันระหว่างเส้นใยเป็นจำนวนมากและกระจายกันอย่างหลวมๆ ทั้งในด้านตะแกรงและด้านสัทพลาด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบ R1 (0:100) และ R2 (0:100) ทั้งในด้านตะแกรงและด้านสัทพลาดจะถูกอัดแน่นด้วยเส้นใยและตัวเติมที่ยังคงเหลืออยู่ในระบบมากกว่า

ส่วนบริเวณด้านซ้ายของภาพจะสังเกตเห็นได้ว่าหมึกพิมพ์ออฟเซตไม่สามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาจนปกคลุมเส้นใยในลักษณะที่ทำให้พื้นผิวเรียบและบดบังเส้นใยจนเห็นแต่ชั้นหมึกเท่านั้น แต่หมึกพิมพ์ออฟเซตจะมีการซึมผ่านลงไปจากชั้นผิวหน้าของแผ่นทดสอบ และเกิดการแห้งตัวด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลาในการแห้งตัวมากกว่า 24 ชั่วโมง จึงทำให้หมึกพิมพ์เคลือบติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยตามช่องว่างและแนวของเส้นใยที่มีการสานกันที่ผิวหน้ากลายเป็นชั้นฟิล์มที่หนาขึ้นมา รวมถึงภายในรูพรุนที่ผิวหน้าหรือช่องว่างระหว่างเส้นใย จึงทำให้สังเกตเห็นลักษณะของเส้นใยและสภาพผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้อย่างชัดเจน และเนื่องจากหมึกพิมพ์ออฟเซตนั้นใช้ผงหมึกเป็นสารให้สี จึงสามารถสังเกตเห็นผงสีของหมึกพิมพ์ออฟเซตจะเคลือบติดอยู่บนเส้นใย โดยมีเรซินในหมึกพิมพ์ทำหน้าที่ยึดติดและสร้างชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

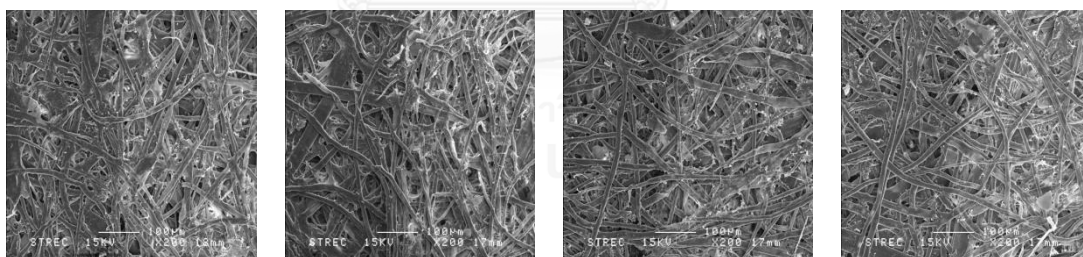
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบตามภาพจะพบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างในส่วนของพื้นที่ที่มีหมึกพิมพ์ปกคลุมระหว่างแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4-29 และ 4-30 ในส่วนของหมึกพิมพ์สีดำเปรียบเทียบภายในอัตราส่วนเดียวกันนั้นพบว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) อยู่ในระดับที่น้อยมาก โดยแผ่นทดสอบ R2 (50:50) มีค่ามากกว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าลักษณะของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนเส้นใยค่อนข้างคล้ายกัน

ในขณะที่แผ่นทดสอบระหว่างคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) ถึงแม้ว่าการทดสอบทางสถิติจะพบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบระหว่างคู่นี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยแผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่ามากกว่า R2 (0:100) แต่จะพบว่าความแตกต่างนั้นอยู่ในระดับที่น้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อใหม่ H7S3 ตามภาพที่ 4-10 (ข) และ 4-11 (ข) จะพบว่าสภาพผิวหน้าของกระดาษที่มีขนาดความยาวและความกว้างของเส้นใย รวมถึงการกระจายตัวของเส้นใยนั้นค่อนข้างคล้ายกัน และการปกคลุมหมึกบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบก็คล้ายกันด้วย ถึงแม้ว่าการทดสอบทางสถิติจะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ระหว่าง R2 (50:50) กับ H7S3 แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R1 (50:50) กับ H7S3 อีกทั้งค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ออฟเซตสีดำบนแผ่นทดสอบก็อยู่ในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมากตามภาพที่ 4-19 (ก) ดังนั้นการพิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดไม่สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ได้อย่างชัดเจน

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาภาพถ่ายทั้งที่กำลังขยาย 200 เท่า ระหว่างแผ่นทดสอบ ทั้ง 5 ชนิด พบว่าที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบ H7S3 เส้นใยมีลักษณะการจัดวางตัวที่ค่อนข้างแนบชิดกว่าเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิด และผิวหน้าก็มีหมึกปกคลุมเส้นใยอย่างหนาแน่น ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) มีการวางตัวของเส้นใยที่ค่อนข้างห่างถึงแม้ว่าจะมีหมึกพิมพ์ปกคลุมที่ผิวหน้าของเส้นใย แต่ก็พบว่ามิโพรงลึกเข้าไปด้านในของกระดาษด้วยเช่นกัน ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) จะอยู่ระดับกลางๆ ถึงแม้ว่าเส้นใยที่ผิวหน้าจะวางตัวค่อนข้างห่าง แต่ก็ปรากฏโพรงลึกเข้าไปด้านในของกระดาษน้อยกว่า ซึ่งลักษณะของผิวหน้าดังกล่าวค่อนข้างสัมพันธ์กับผลค่าความม้วนาวที่มุม 75 องศา เมื่อเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่จึงส่งผลให้ค่าความม้วนาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากลักษณะของพื้นผิวดังกล่าวอาจส่งผลให้การสะท้อนแสงแบบตรงลดน้อยลง อีกทั้งลักษณะของโพรงที่ปรากฏใน R1 (0:100) ค่อนข้างลึกและกว้างกว่า R2 (0:100) ซึ่งส่งผลให้ R2 (0:100) มีค่าเฉลี่ยความม้วนาวสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R1 (50:50) กับ R2 (50:50)

ดังนั้นจากการพิจารณาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังกล่าวจะสามารถบอกความแตกต่างได้ในส่วนของค่าความม้วนาวที่มุม 75 องศา แต่ไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างเด่นชัดในส่วนของค่าความดำพื้นที่



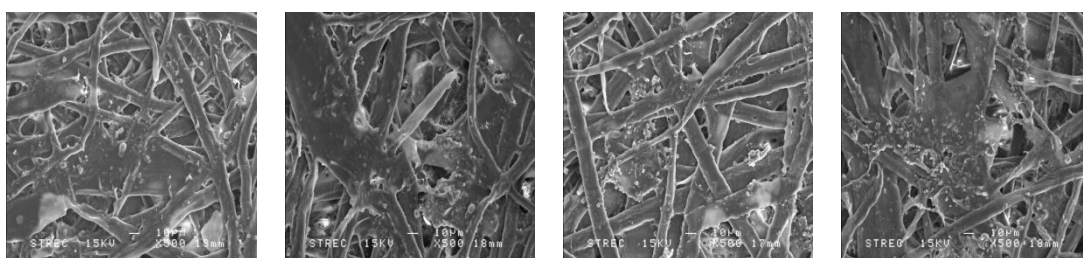
(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-27 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-28 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์ออฟเซตในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)

(2) การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี

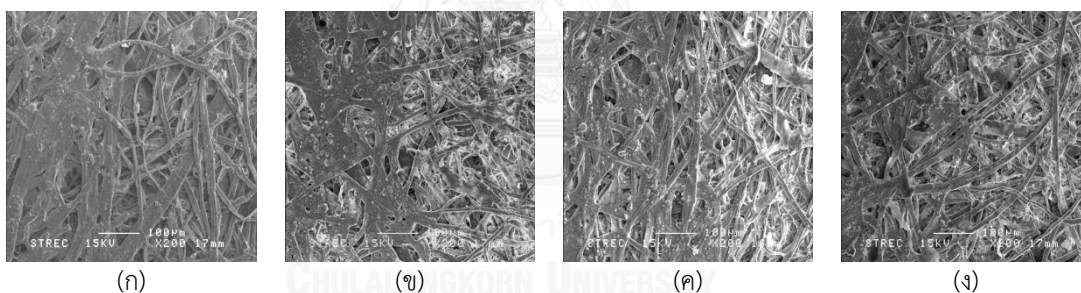
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4-29 และ 4-30 ซึ่งเป็นภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นทดสอบ 4 ชนิด ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ แผ่นทดสอบถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสีดำโดยใช้แอนนิลอกซ์ที่ความละเอียด 60 เส้นต่อเซนติเมตร และเป็นการพิมพ์แบบพื้นที่บนนั้น จะเห็นได้ว่าชั้นหมึกพิมพ์มีการปกคลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบทั้งที่เป็นส่วนของชั้นหมึกพิมพ์ที่สามารถปกปิดเส้นใยได้ และส่วนที่ไหลลงไปตามช่องว่างที่เกิดจากการสานกันของเส้นใย อีกทั้งยังสังเกตเห็นผงสีที่ติดอยู่บนเส้นใยได้อย่างชัดเจน แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับบริเวณที่หมึกพิมพ์ปกคลุม โดยบริเวณที่เส้นใยสานกันอย่างหนาแน่นจะช่วยลดช่องว่างและรูพรุน ดังนั้นหมึกพิมพ์จึงสามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์และปกปิดเส้นใยได้ แต่ในบริเวณที่เส้นใยสานแบบอยู่ห่างจากกันจะทำให้เกิดช่องว่างและรูพรุนขนาดใหญ่ ชั้นของหมึกพิมพ์จึงตกลงไปในช่องว่างเหล่านี้และไม่สามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์แบบที่ปกปิดเส้นใยได้ อีกทั้งการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเป็นการพิมพ์แบบใช้แรงกดพิมพ์น้อย จึงช่วยให้หมึกพิมพ์คงอยู่ที่ผิวหน้าได้ และหมึกพิมพ์แห้งตัวโดยการซึมผ่านและการระเหยของตัวทำละลาย

เมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 4-12 (ข) และ 4-13 (ข) ของตัวอย่าง H7S3 จะเห็นความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบทั้ง 5 ชนิดได้โดยการพิจารณาที่กำลังขยาย 500 เท่า ซึ่งจะพบว่า H7S3 มีการปกคลุมของหมึกพิมพ์บนเส้นใยมากกว่าแผ่นทดสอบเยื่อเวียมนำใหม่อื่นๆ โดยมีหลุมปรากฏให้เห็นเล็กน้อย ในขณะที่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) มีการปกคลุมของหมึกพิมพ์รองลงมาในระดับที่ใกล้เคียงกันโดย ในขณะที่ R1 (0:100) และ R2 (0:100) มีการปกคลุมของหมึกพิมพ์ที่น้อยที่สุดในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยสังเกตเห็นการจัดวางของเส้นใยที่ผิวหน้าจะค่อนข้างกว้างกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับค่าความดำพื้นที่ตามภาพที่ 4-21 (ก) ที่เรียงลำดับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่จากมากไปน้อยคือ H7S3 R2 (50:50) R1 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง H7S3 กับ R1 (50:50) และระหว่าง H7S3 กับ R2 (50:50) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่าง R1 (0:100) และ R2 (0:100)

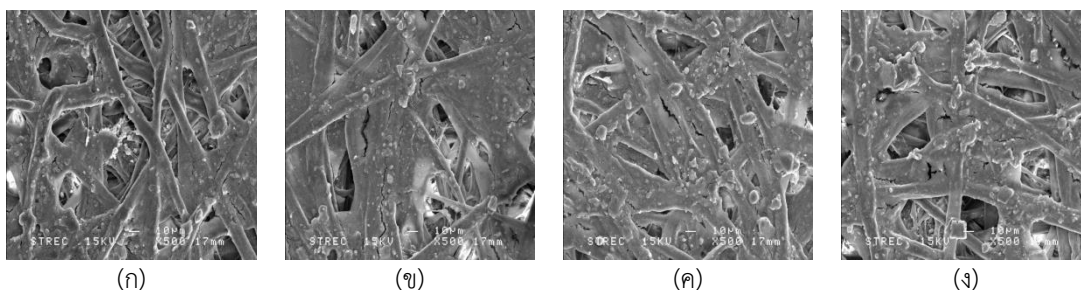
จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนแผ่นทดสอบซึ่งมีความแตกต่างจากผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียมนำใหม่ได้

ในส่วนของการพิจารณาภาพถ่ายร่วมกับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่าค่อนข้างสัมพันธ์กัน โดยแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าเฉลี่ยความมันวาวสูงสุด รองลงมาคือ R2 (50:50) R1 (50:50) R1 (0:100) และ R2 (0:100) ตามลำดับ จากที่ได้กล่าวข้างต้นเกี่ยวกับลักษณะของการจัดวางเส้นใยที่ผิวหน้าและลักษณะของหลุมหรือโพรง สามารถสังเกตเพิ่มเติมได้อีกว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) มีหลุมหรือโพรงที่กว้างและใหญ่กว่า R2 (50:50) และในส่วนของแผ่นทดสอบ R2 (0:100) การจัดวางของเส้นใยที่ผิวหน้าจะค่อนข้างกว้างกว่า R2 (0:100) ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับลำดับของค่าเฉลี่ยความมันวาว โดยการทดสอบทางสถิติก็แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเช่นเดียวกันตามตารางที่ 4-38 และ 4-39 ซึ่งลักษณะของผิวหน้าดังกล่าวส่งผลให้ความสามารถสะท้อนแสงแบบตรงลดลง

จากผลการพิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบและของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนแผ่นทดสอบซึ่งมีความแตกต่างจากผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสีดำโดยใช้แอนนิลออกซ์ที่ความละเอียด 60 เส้นต่อเซนติเมตรได้



ภาพที่ 4-29 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)



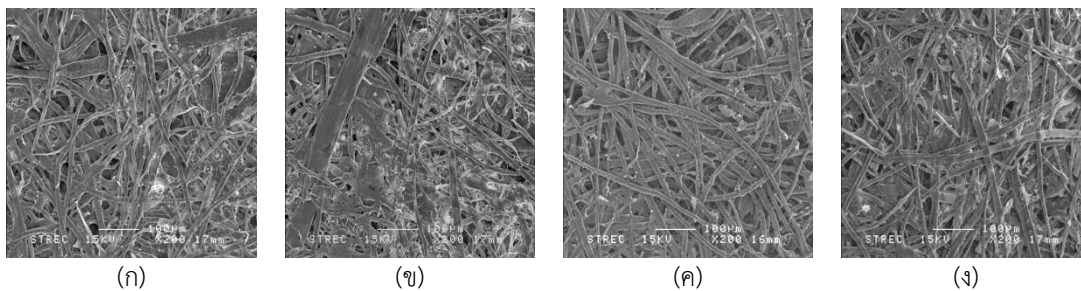
ภาพที่ 4-30 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)

(3) การพิมพ์พ่นหมึก

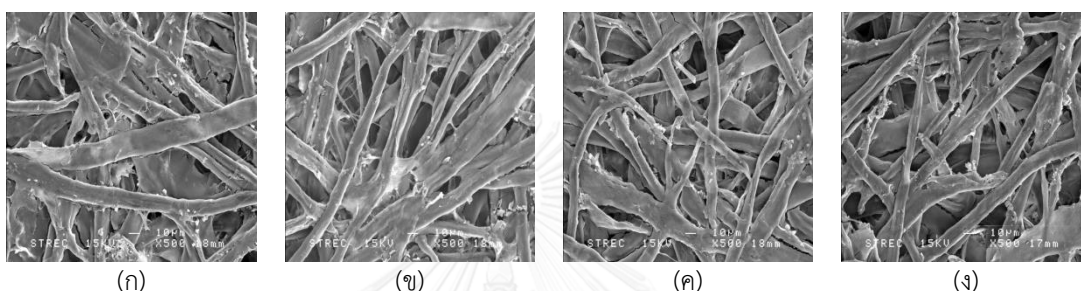
พิจารณาจากภาพที่ 4-31 และ 4-32 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ของแผ่นทดสอบ 4 ชนิด ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ เมื่อแผ่นทดสอบถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์พ่นหมึกสีดำที่ระดับสีร้อยละ 100 โดยเป็นการพิมพ์แบบพ่นที่บนนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่าแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดนั้น มีลักษณะการปกคลุมของหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกที่ผิวที่ใกล้เคียงกัน โดยหมึกพิมพ์จะเคลือบอยู่บนเส้นใย ตามแนวของเส้นใยที่มีการสานกันที่ผิวหน้าและสร้างเป็นชั้นฟิล์มที่หนาบนเส้นใยขึ้นมา และในบางบริเวณที่เส้นใยสานกันอย่างแนบชิดนั้นหมึกพิมพ์จะสามารถสร้างชั้นหมึกพิมพ์ปกปิดเส้นใยได้เช่นกัน การพิมพ์พ่นหมึกจะเป็นการพิมพ์แบบไร้แรงกดพิมพ์และหมึกพิมพ์แห้งตัวโดยการซึมผ่านและการระเหยของตัวทำละลาย โดยหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกจะมีการซึมผ่านจากผิวหน้าลงไปบนแผ่นทดสอบและมีการซึมตามด้านข้าง อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยและรูพรุนได้ค่อนข้างชัดเจน แสดงว่ามีชั้นหมึกพิมพ์ที่บางและไม่สามารถปกคลุมเส้นใยที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้มาก

ในส่วนของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดนั้น พบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 4-14 (ข) และ 4-15 (ข) ของตัวอย่าง H7S3 จะสังเกตเห็นการปกคลุมของหมึกพิมพ์ที่ค่อนข้างแตกต่างจากแผ่นทดสอบจากเยื่อใยใหม่ทั้ง 4 ชนิด โดยพื้นผิวของเส้นใยจะถูกเคลือบด้วยหมึกพิมพ์ และในบริเวณที่เป็นการตัดขาดผ่านระหว่างเส้นใยหมึกพิมพ์ก็ยังคงมีหมึกพิมพ์แทรกอยู่ ในขณะที่แผ่นทดสอบจากเยื่อใยใหม่จะสังเกตเห็นเป็นหลุมหรือโพรงกว้าง จากลักษณะการจัดวางเส้นใยที่ผิวหน้าดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นผิวของแผ่นทดสอบ H7S3 มีค่าสูงกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในขณะที่แผ่นทดสอบอื่นๆ มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบทางสถิติที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างคู่ H7S3 กับ R1 (50:50) และคู่ H7S3 กับ R2 (50:50) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างคู่ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และคู่ R1 (0:100) กับ R2 (0:100) เช่นเดียวกันกับการพิจารณาร่วมกับผลค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศา ก็ให้ผลสอดคล้องในลักษณะเดียวกัน

จากผลการพิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นผิวและของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนแผ่นทดสอบซึ่งมีความแตกต่างจากผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อใยใหม่เมื่อ พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์พ่นหมึกสีดำที่ระดับสีร้อยละ 100



ภาพที่ 4-31 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)



ภาพที่ 4-32 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า จากการพิมพ์พ่นหมึกในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)

4) การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์

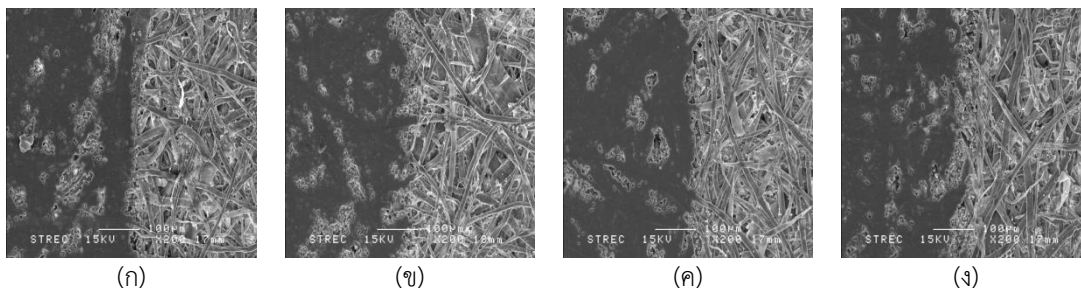
พิจารณาจากภาพที่ 4-33 และ 4-34 ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นทดสอบ 4 ชนิด ที่กำลังขยาย 200 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ ซึ่งแผ่นทดสอบถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์โทนเนอร์สีดำสำหรับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ระดับสีร้อยละ 100 โดยเป็นการพิมพ์แบบพื้นทึบ ด้วยเครื่องถ่ายสำเนาเอกประสงค์ FUJI XEROX Document Centre C450 สังเกตลักษณะแผ่นทดสอบที่ถูกหมึกพิมพ์โทนเนอร์ปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบและปกปิดเส้นใยไว้เกือบทั้งหมด โดยจะเห็นส่วนที่เป็นหลุมหรือโพรงและมีอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กอยู่ภายใน ซึ่งก็คือโทนเนอร์ที่ไม่ได้ถูกหลอมละลายและกดให้ผสานกันเป็นชั้นของหมึกพิมพ์แผ่นเรียบ เนื่องจากการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นการพิมพ์แบบใช้แรงกด หมึกพิมพ์โทนเนอร์จะถูกล้อมด้วยความร้อนและใช้แรงกดเพื่อให้สามารถยึดติดหมึกพิมพ์กับวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้ ดังนั้นหมึกพิมพ์โทนเนอร์จะหลอมละลายยึดติดอยู่ที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบและสร้างชั้นหมึกพิมพ์ที่หนากว่ากระบวนการพิมพ์แบบอื่นๆ โดยลักษณะของหลุมที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าผิวหน้าของแผ่นทดสอบนั้นมีช่องว่างและหลุมที่เกิดจากการสานกันของเส้นใยบางบริเวณที่ค่อนข้างกว้างและลึก ดังนั้นหมึกพิมพ์โทนเนอร์จึงไม่สามารถปกคลุมในบริเวณดังกล่าวได้

ในส่วนของหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนผิวหน้าของแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิดนั้น พบว่าสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบได้เล็กน้อย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแผ่นทดสอบร่วมกับตารางที่ 4-38 และ 4-39 จะพบว่าในส่วนของหมึกพิมพ์สีดำที่เปรียบเทียบภายในอัตราส่วนเดียวกันนั้น ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบบนแผ่นทดสอบ R1 (50:50) มีค่าน้อยกว่า R2 (50:50) เล็กน้อย และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่แผ่นทดสอบ R1 (0:100) มีค่าน้อยกว่า R2 (0:100) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามอาจสังเกตความแตกต่างดังกล่าวได้จากภาพขนาดรูพรุนบนชั้นหมึกพิมพ์ค่อนข้างกว้างและกระจายอยู่ทั่วไปได้แต่อาจเห็นไม่เด่นชัดเพราะขึ้นอยู่กับริเวณพื้นที่ที่สุ่มเลือก

เมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 4-16 (ข) และ 4-17 (ข) ของตัวอย่าง H7S3 พบว่าลักษณะของผิวหน้าของแผ่นทดสอบที่มีหมึกปกคลุมนั้นไม่ได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของ H7S3 R2 (50:50) และ R2 (0:100) ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ในขณะที่ R1 (50:50) กับ R2 (0:100) มีค่ารองลงมา โดยพบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R1 (50:50) กับ H7S3 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R2 (50:50) กับ H7S3 จากผลดังกล่าวไม่สามารถหาความสัมพันธ์กับภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้อย่างชัดเจน

ในส่วนของการพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่าแผ่นทดสอบ R2 (50:50) มีค่าสูงกว่า R1 (50:50) เล็กน้อย และแผ่นทดสอบ R2 (0:100) มีค่าสูงกว่า R1 (0:100) เล็กน้อยเช่นกัน โดยในการทดสอบทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยระหว่างคู่ของแผ่นทดสอบดังกล่าว และพบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R1 (50:50) กับ H7S3 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง R2 (50:50) กับ H7S3 โดยการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ค่าความมันวาวลดลง จากผลดังกล่าวไม่สามารถหาความสัมพันธ์กับภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากรูพรุนและช่องว่างบนชั้นหมึกพิมพ์มีขนาดที่แตกต่างกันและกระจายอยู่โดยทั่วไปในแต่ละบริเวณ

จากการพิจารณาภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนดังกล่าวจะสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบทั้ง 5 ชนิด ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์แบบโทนเนอร์สีดำสำหรับกรพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับสปีดรีดละ 100 เมื่อพิจารณาร่วมกับผลของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบและความมันวาวที่มุม 75 องศา



(ก)

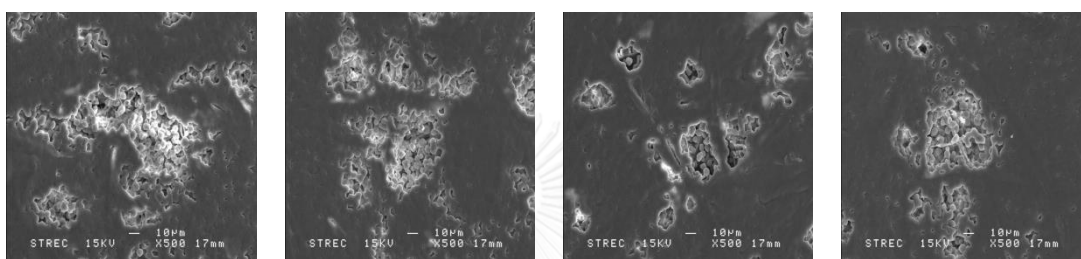
(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-33 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

จากการพิมพ์อิเล็กโทรโโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-34 ภาพถ่ายแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า

จากการพิมพ์อิเล็กโทรโโตกราฟีในการทดลองตอนที่ 2 (ก) R1 (50:50) (ข) R2 (50:50) (ค) R1 (0:100) (ง) R2 (0:100)

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ในทุกกระบวนการพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สีดำด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าความดำพื้นที่บสูงสุด สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของลักษณะหมึกพิมพ์ที่ปกคลุมบนแผ่นทดสอบได้บ้าง เมื่อพิจารณาผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ร่วมกับผลค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บ พบว่าการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีและการพิมพ์พ่นหมึกสามารถบ่งชี้ถึงความแตกต่างนี้ได้จากลักษณะการวางตัวของเส้นใยที่ผิวหน้า การปกคลุมของหมึกพิมพ์ และลักษณะของหลุมหรือโพรงที่กระจายอยู่ที่ผิวหน้า ในขณะที่การพิจารณาร่วมกับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่ามีความสอดคล้องกันโดยเฉพาะในการพิมพ์ออฟเซต เฟล็กโซกราฟี และการพิมพ์พ่นหมึก ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากลักษณะผิวหน้าของแผ่นทดสอบเช่นกัน ยกเว้นการพิมพ์อิเล็กโทรโโตกราฟีที่หมึกพิมพ์นั้นปกคลุมเส้นใยที่ผิวหน้าทั้งหมดจึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้สามารถสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะการสานกันของเส้นใย ระยะห่างระหว่างเส้นใย และรูพรุนล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบของแผ่นทดสอบจึงมีความสำคัญการสร้างชั้นหมึกพิมพ์เพื่อปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบ นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของผิวหน้าโดยส่วนใหญ่จะคล้ายกันในเยื่อเวียนทำใหม่ที่อัตราส่วนเดียวกัน คือระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่าง R1 (0:100) กับ R2 (0:100) อาจเป็นเพราะว่าแผ่นทดสอบแต่ละชนิดมีการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่คล้ายกันตามภาพที่ 4-18

4.2.8 ผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ

จากการพิจารณาผลของการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ต่อสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบชนิดต่างๆ ที่พิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ความดำพื้นที่บสูงสุด ตามตารางที่ 4-49 และ 4-50 โดยเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันของการผสมเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด และทำการเปรียบเทียบภายในเยื่อเวียนทำใหม่ชนิดเดียวกัน รวมถึงสรุปผลในส่วนของคุณค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา ด้วยสภาพเดียวกัน ตามตารางที่ 4-51 และ 4-52 พบว่าความแตกต่างระหว่างแผ่นทดสอบแต่ละคู่ที่ค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งในการพิจารณาแผ่นทดสอบที่ถูกพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ ด้วยสายตานั้น อาจไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ในบางคู่ของแผ่นทดสอบ อย่างไรก็ตามจากการวัดค่าความดำพื้นที่บและค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มที่ปรากฏดังนี้

- 1) การเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันที่ระดับ 50:50 แผ่นทดสอบ R2 (50:50) ในการทดสอบพิมพ์ด้วยการพิมพ์ออฟเซตและการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในแต่ละสีนั้น พบว่าส่วนใหญ่จะช่วยให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงกว่าแผ่นทดสอบ R1 (50:50) เล็กน้อย ในขณะที่การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ผลในทางตรงกันข้าม ส่วนการพิมพ์พ่นหมึกนั้นไม่พบแนวโน้มที่แน่นอน อย่างไรก็ตามพบว่าเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันที่ 50:50 นั้น โดยส่วนใหญ่แล้วค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
- 2) การเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันที่ระดับ 100:100 สำหรับแผ่นทดสอบ R1 (0:100) ในการทดสอบพิมพ์ด้วยการพิมพ์ออฟเซตและการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในแต่ละสีนั้น พบว่าส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บสูงกว่าแผ่นทดสอบ R2 (0:100) เล็กน้อย ในขณะที่การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ผลในทางตรงกันข้าม ส่วนการพิมพ์พ่นหมึกนั้นไม่พบแนวโน้มที่แน่นอน อย่างไรก็ตามพบว่าเปรียบเทียบที่ระดับอัตราส่วนเดียวกันที่ 100:100 นั้น โดยส่วนใหญ่แล้วค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
- 3) การเปรียบเทียบผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ระหว่างแผ่นทดสอบ R1 (50:50) กับ H7S3 พบว่าสำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในทุกสีการเติมเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากการที่หมึกพิมพ์เป็นแบบฐานน้ำจึงส่งผลได้อย่างเด่นชัดกับสภาพของเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ที่แย่ง แต่ในส่วนของการพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์พ่นหมึก และการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์พบว่าแผ่นทดสอบส่วนใหญ่ไม่ปรากฏแนวโน้มที่เด่นชัดทั้งหมดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

- 4) การเปรียบเทียบผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ระหว่างแผ่นทดสอบ R2 (50:50) กับ H7S3 พบว่าสำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีโดยส่วนใหญ่ การเติมเยื่อเวียนทำใหม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญยกเว้นหมึกพิมพ์สีเหลือง ส่วนการพิมพ์ออฟเซตส่งผลให้แผ่นทดสอบโดยส่วนใหญ่มีค่าสูงขึ้นและในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีจะส่งผลให้ค่าลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และในส่วนของ การพิมพ์พ่นหมึกพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงนั้นไม่ชัดเจนแต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละสี แสดงว่าอาจขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างสีของหมึกพิมพ์และแผ่นทดสอบ
- 5) โดยสรุปแล้วพบว่าผลการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดนั้นส่งผลอย่างชัดเจนในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ซึ่งมีผลทำให้ค่าความดำพื้นที่โดยส่วนใหญ่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กระบวนการพิมพ์อื่นๆ นั้นไม่ได้ปรากฏแนวโน้มที่ชัดเจนและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และสำหรับการเปรียบเทียบระหว่าง R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่าง R1 (50:50) กับ R2 (50:50) พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิดนี้
- 6) สำหรับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อเวียนทำใหม่ทั้งสองชนิดในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์นั้นส่งผลให้ค่าความมันวาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลจากสภาพของเส้นใยที่แย่ง แต่การเปรียบเทียบระหว่างเยื่อเวียนทำใหม่สองชนิด คือ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่าง R1 (0:100) กับ R2 (0:100) พบว่าโดยส่วนใหญ่ในการพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์พ่นหมึก และการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของ การพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนั้นโดยส่วนใหญ่ R2 (50:50) มีค่าสูงกว่า R1 (50:50) ส่วน R1 (0:100) มีค่าสูงกว่า R2 (0:100) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่วนใหญ่ อาจเกิดจากสัดส่วนของเส้นใยในระบบที่มีลักษณะคล้ายกันมากกว่าจึงส่งผลให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอและมีการสะท้อนแสงในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าวที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในระดับที่น้อยมาก อีกทั้งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้แตกต่างกันมากและไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ซึ่งผลการทดลองที่พบทั้งหมดดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแผ่นทดสอบกับหมึกพิมพ์ในแต่ละสีในแต่ละกระบวนการพิมพ์ และจากผลการทดลองทั้งหมดทั้งตอนที่ 1 และ 2 นี้ สามารถนำไปทดสอบทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบได้ต่อไป

ตารางที่ 4-49 สรุปความถี่ของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบเมื่อพิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์
ที่ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบสูงสุดในการทดลองตอนที่ 2

การพิมพ์	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
ออฟเซต	เหลือง	○	X	○	○
	ม่วงแดง	○	○	○	○
	น้ำเงินเขียว	○	X	X	○
	ดำ	○	X	○	X
เฟล็กโซกราฟี	เหลือง	X	○	X	○
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	○	○	X	X
พ่นหมึก	เหลือง	○	X	X	X
	ม่วงแดง	○	○	○	X
	น้ำเงินเขียว	X	○	○	X
	ดำ	○	○	X	X
อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	เหลือง	○	○	○	○
	ม่วงแดง	X	○	○	X
	น้ำเงินเขียว	X	○	○	○
	ดำ	○	X	X	○
รวม	○	12	11	8	7
	X	4	5	8	9

หมายเหตุ ○ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 4-50 สรุปความถี่การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บเมื่อพิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้
ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บสูงสุดในการทดลองตอนที่ 2

การพิมพ์	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)		R1 (0:100) กับ R2 (0:100)		R1 (50:50) กับ H7S3		R2 (50:50) กับ H7S3	
ออฟเซต	เหลือง	R1=R2	0.00	R1>R2	0.04	↑	0.02	↑	0.02
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.02	↓	-0.01	↑	0.02
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.05	↓	-0.02	↓	-0.01
	ดำ	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.02	↑	0.01	↑	0.03
เฟล็กโซกราฟี	เหลือง	R1<R2	-0.06	R1>R2	0.01	↓	-0.07	=	0.00
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.02	R1>R2	0.03	↓	-0.18	↓	-0.16
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.03	R1=R2	0.00	↓	-0.12	↓	-0.09
	ดำ	R1<R2	-0.03	R1>R2	0.05	↓	-0.15	↓	-0.12
พ่นหมึก	เหลือง	R1>R2	0.01	R1>R2	0.02	↓	-0.01	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1=R2	0.00	R1<R2	-0.01	↑	0.01	↑	0.01
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.03	R1<R2	-0.01	↓	-0.01	↑	0.02
	ดำ	R1=R2	0.00	R1>R2	0.02	↓	-0.07	↓	-0.07
อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	เหลือง	R1>R2	0.03	R1<R2	-0.02	↑	0.01	↓	-0.02
	ม่วงแดง	R1>R2	0.03	R1=R2	0.00	↑	0.55	↓	-0.06
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	0.06	R1<R2	-0.01	↑	0.05	↓	-0.01
	ดำ	R1<R2	-0.02	R1<R2	-0.07	↓	-0.06	↓	-0.03
รวม		R1>R2	4	R1>R2	9	↑	6	↑	5
		R1=R2	3	R1=R2	2	=	0	=	1
		R1<R2	9	R1<R2	5	↓	10	↓	10

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความพื้นที่บบนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความพื้นที่บบนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-51 สรุปความถี่ของความแตกต่างของค่าความมันวาวที่มุม 75 องศาเมื่อพิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่สูงสุดในการทดลองตอนที่ 2

การพิมพ์	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ			
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน		เทียบกับเยื่อใหม่	
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3
ออฟเซต	เหลือง	○	X	X	X
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	X	X	X
	ดำ	○	X	X	X
เฟล็กโซกราฟี	เหลือง	X	X	X	X
	ม่วงแดง	X	X	X	X
	น้ำเงินเขียว	X	X	X	X
	ดำ	X	X	X	X
พ่นหมึก	เหลือง	○	○	X	X
	ม่วงแดง	○	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	○	○	X	X
อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	เหลือง	X	○	X	X
	ม่วงแดง	X	○	X	X
	น้ำเงินเขียว	○	○	X	X
	ดำ	X	X	X	○
รวม	○	9	8	0	1
	X	7	8	16	15

หมายเหตุ ○ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

X มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์ระหว่างแผ่นทดสอบ

ตารางที่ 4-52 สรุปความถี่การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยความมั่นคงที่มุม 75 องศา เมื่อพิมพ์ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าเฉลี่ยความด้าพื้นที่บสูงสุดในการทดลองตอนที่ 2

การพิมพ์	หมึกพิมพ์สี	คู่ของแผ่นทดสอบที่เปรียบเทียบ							
		ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน				เทียบกับเยื่อใหม่			
		R1 (50:50) กับ R2 (50:50)	R1 (0:100) กับ R2 (0:100)	R1 (50:50) กับ H7S3	R2 (50:50) กับ H7S3				
ออฟเซต	เหลือง	R1>R2	0.02	R1<R2	-0.37	↓	-0.46	↓	-0.48
	ม่วงแดง	R1>R2	0.21	R1<R2	-0.03	↓	-0.69	↓	-0.90
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.20	R1>R2	0.01	↓	-0.63	↓	-0.43
	ดำ	R1>R2	0.17	R1>R2	0.09	↓	-0.64	↓	-0.81
เฟล็กโซกราฟี	เหลือง	R1<R2	-0.39	R1<R2	-0.19	↓	-2.02	↓	-1.63
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.26	R1<R2	-0.17	↓	-0.72	↓	-0.47
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.29	R1>R2	0.27	↓	-1.38	↓	-1.09
	ดำ	R1<R2	-0.13	R1>R2	0.13	↓	-1.07	↓	-0.93
พ่นหมึก	เหลือง	R1<R2	-0.10	R1<R2	-0.07	↓	-0.83	↓	-0.73
	ม่วงแดง	R1<R2	-0.08	R1>R2	0.03	↓	-1.02	↓	-0.94
	น้ำเงินเขียว	R1<R2	-0.01	R1>R2	0.17	↓	-0.43	↓	-0.42
	ดำ	R1<R2	-0.11	R1<R2	-0.07	↓	-1.48	↓	-1.37
อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ	เหลือง	R1>R2	4.64	R1>R2	0.67	↓	-3.58	↓	-8.22
	ม่วงแดง	R1>R2	4.88	R1>R2	1.67	↓	-2.70	↓	-7.58
	น้ำเงินเขียว	R1>R2	1.40	R1>R2	1.60	↓	-1.31	↓	-2.71
	ดำ	R1<R2	-2.58	R1<R2	-0.33	↓	-4.43	↓	-1.86
รวม		R1>R2	6	R1>R2	9	↑	0	↑	0
		R1=R2	0	R1=R2	0	=	0	=	0
		R1<R2	10	R1<R2	7	↓	16	↓	16

หมายเหตุ (1) เครื่องหมายแสดงความแตกต่างของค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบของเยื่อต่างชนิดแต่ที่ระดับอัตราส่วนเดียวกัน

R1>R2 R1 (50:50) มากกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) มากกว่า R2 (0:100)

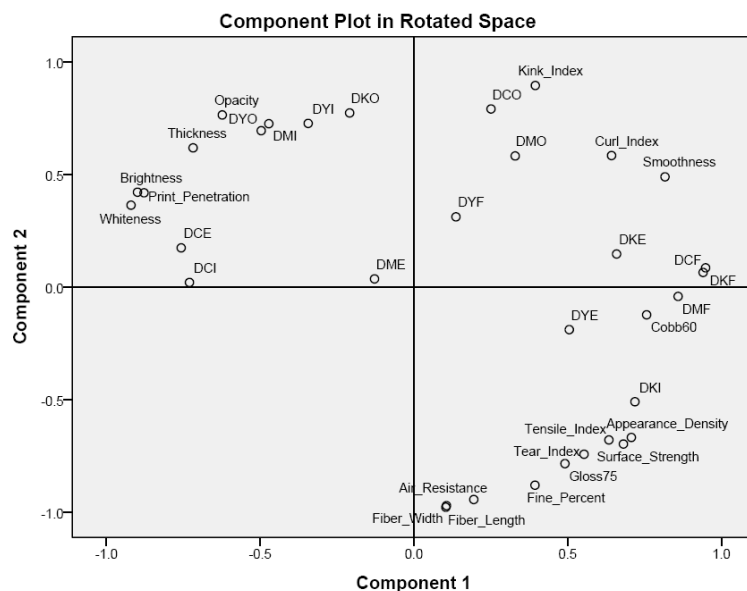
R1=R2 R1 (50:50) เท่ากับ R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) เท่ากับ R2 (0:100)

R1<R2 R1 (50:50) น้อยกว่า R2 (50:50) หรือ R1 (0:100) น้อยกว่า R2 (0:100)

(2) เครื่องหมายแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความพื้นที่บนแผ่นทดสอบภายหลังการผสมเยื่อเวียนทำใหม่กับเยื่อใหม่

↓ ลดลง = ไม่เปลี่ยนแปลง ↑ เพิ่มขึ้น

4.2.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) ของความสัมพันธ์ในด้านต่างๆ



ภาพที่ 4-35 การวิเคราะห์องค์ประกอบ

จากภาพที่ 4-35 ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยใช้ข้อมูลทั้งหมดทั้งในการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ร่วมกัน ในส่วนของข้อมูลสภาพเส้นใย สมบัติของแผ่นทดสอบ และสภาพพิมพ์ได้ (ค่าความดำพื้นที่) เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์กันในแต่ละปัจจัยโดยระหว่างแผ่นทดสอบกับความสามารถในการรับหมึกหรือสภาพพิมพ์ได้ของแผ่นทดสอบ ซึ่งใช้วิธีการสกัดปัจจัยแบบ Principle component โดยได้กำหนดทั้งหมด 2 ปัจจัย (component) ค่าผลบวกสะสม (Cumulative percent) ของร้อยละความแปรปรวน (Percent of variance) ใน 2 ปัจจัย รวมมีค่าเท่ากับร้อยละ 75 ดังนั้นทั้งปัจจัยที่ 1 และ 2 สามารถอธิบายค่าความแปรปรวนทั้ง 34 ตัวแปร ได้ร้อยละ 75 และในส่วนของสัญลักษณ์ของแต่ละตัวแปรสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 4-53 สำหรับความสัมพันธ์ในแต่ละปัจจัยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 (Component 1) เกี่ยวข้องกับสภาพเส้นใยและสมบัติของแผ่นทดสอบ ซึ่งได้แก่ ความยาวและความกว้างของเส้นใย ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก ความหนาแน่นปรากฏ ความต้านทานอากาศ ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ดัชนีความต้านแรงฉีก ความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบ ความมันวาวที่มุม 75 องศาของแผ่นทดสอบ การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยหลักในปัจจัยที่ 1 ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน แต่ในส่วนของค่าความดำพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่ ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (DYE) หมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (DMF) และหมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์พ่นหมึก (DKI)

ตารางที่ 4-53 สัญลักษณ์ของแต่ละตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ความหมาย
1.	Fiber_Length	ความยาวของเส้นใย
2.	Fiber_Width	ความกว้างของเส้นใย
3.	Fine_Percent	ร้อยละของปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก
4.	Curl_Index	ดัชนีการโค้งงอของเส้นใย
5.	Kink_Index	ดัชนีการหักงอของเส้นใย
6.	Thickness	ความหนาของแผ่นทดสอบ
7.	Apparent_Density	ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบ
8.	Smoothness	ความเรียบของแผ่นทดสอบ
9.	Air_Resistance	ความต้านอากาศของแผ่นทดสอบ
10.	Tensile_Index	ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแผ่นทดสอบ
11.	Tear_Index	ดัชนีความต้านทานแรงฉีกของแผ่นทดสอบ
12.	Brightness	ความขาวสว่างของแผ่นทดสอบ
13.	Opacity	ความทึบแสงของแผ่นทดสอบ
14.	Whiteness	ความขาวของแผ่นทดสอบ
15.	Gloss75	ความมันวาวที่มุม 75 องศา ของแผ่นทดสอบ
16.	Cobb60	การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที ของแผ่นทดสอบ
17.	Print_Penetration	การพิมพ์ซึมผ่านของแผ่นทดสอบ
18.	Surface_Strength	ความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบ
19.	DYO	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์ออฟเซต
20.	DMO	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์ออฟเซต
21.	DCO	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์ออฟเซต
22.	DKO	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์ออฟเซต
23.	DYF	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
24.	DMF	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
25.	DCF	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
26.	DKF	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
27.	DYI	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์พ่นหมึก
28.	DMI	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์พ่นหมึก
29.	DCI	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์พ่นหมึก
30.	DKI	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์พ่นหมึก
31.	DYE	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ
32.	DME	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ
33.	DCE	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ
34.	DKE	ค่าความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์กราฟิ

ปัจจัยที่ 2 (Component 2) โดยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับสมบัติด้านทัศนศาสตร์ ได้แก่ ความขาวสว่าง ความขาว ความทึบแสง รวมถึงสมบัติอื่นๆ ของแผ่นทดสอบ เช่น ความหนา และการพิมพ์ ซึ่มผ่าน ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าความดำพื้นที่กับปัจจัยนี้จะมีค่าความดำพื้นที่ของการพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์พ่นหมึก (DYI) และการพิมพ์ออฟเซต (DYO) หมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์ออฟเซต (DKO) หมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์พ่นหมึก (DMI) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปัจจัยนี้ค่อนข้างมาก รองลงมาคือ หมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี (DCE) และในการพิมพ์พ่นหมึก (DCI) และหมึกพิมพ์สีม่วงแดงในการพิมพ์พ่นหมึก (DMI)

สำหรับตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับทั้ง 2 ปัจจัยนั้น จะได้แก่ ดัชนีการหักงอและดัชนีการโค้งงอของเส้นใย ความเรียบ ซึ่งค่าความดำพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความดำพื้นที่ของการพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์ออฟเซต (DCO) หมึกพิมพ์สีแดงในการพิมพ์ออฟเซต (DMO) ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ค่อนข้างมาก รองลงมาหมึกพิมพ์สีเหลืองในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (DYF) หมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (DKF) หมึกพิมพ์สีน้ำเงินเขียวในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (DCF) หมึกพิมพ์สีดำในการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี (DKE)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวในแต่ละปัจจัย และทั้ง 2 ปัจจัยนั้น สังเกตเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำพื้นที่กับปัจจัยต่างๆ นั้น มีความแตกต่างที่หลากหลายกระจายอยู่โดยรอบกับตัวแปรต่างๆ ในทั้ง 2 ปัจจัย โดยที่ความสัมพันธ์ที่แตกต่างนี้ค่อนข้างเป็นอิสระ หมายถึงไม่ได้เกาะกลุ่มอยู่กับสีใดสีหนึ่งหรือกระบวนการพิมพ์ใดกระบวนการพิมพ์หนึ่งเท่านั้น อีกทั้งยังมีส่วนที่คาบเกี่ยวระหว่าง 2 ปัจจัยนี้ค่อนข้างมากด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นทดสอบกับหมึกพิมพ์แต่ละสีในแต่ละกระบวนการพิมพ์

อย่างไรก็ตามสังเกตเห็นได้ว่าตัวแปรที่สัมพันธ์กับทั้ง 2 ปัจจัยนี้จะเป็นในส่วนของดัชนีการหักงอของเส้นใย ดัชนีการโค้งงอของเส้นใย และความเรียบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในด้านสภาพผิวหน้าของแผ่นทดสอบ และยังสัมพันธ์กับค่าความดำพื้นที่ค่อนข้างมาก จึงอาจกล่าวได้ว่าจากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าสภาพพื้นผิวเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพของเส้นใยในด้านการหักงอและการโค้งงอที่มีอิทธิพลต่อความเรียบสำหรับแผ่นทดสอบที่ไม่ได้มีการขัดผิวหรือเคลือบผิว

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แผ่นทดสอบทั้งหมดที่ผลิตได้นั้นทั้งสภาพเส้นใย สมบัติของแผ่นทดสอบ และสภาพพิมพ์ได้ ล้วนมีความเชื่อมโยงกันทั้งหมดในแต่ละด้าน ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านสภาพพิมพ์ได้ตามปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นทดสอบกับหมึกพิมพ์แต่ละสีในแต่ละกระบวนการพิมพ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยจากการทดลองในตอนต้นที่ 1 และ 2 ได้ ดังนี้

การทดลองตอนที่ 1

การผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่อัตราส่วนต่างๆ กัน เพื่อนำมาผลิตแผ่นทดสอบและทดสอบสภาพพิมพ์ได้โดยส่วนใหญ่จะให้แนวโน้มของผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีโดยเฉพาะสมบัติด้านเชิงกลที่ค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของเยื่อใยยาวเพิ่มสูงขึ้น แต่ในส่วนของสภาพเส้นใย สมบัติของแผ่นทดสอบบางประการและผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้นั้นพบว่ามีความแตกต่างออกไป โดยในส่วนของสภาพเส้นใย ด้านความกว้างของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยขนาดเล็กมีเพียงเยื่อใยยาวล้วนเท่านั้นที่ให้ค่าสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่เยื่อใยสั้นและเยื่อผสมอื่นๆ นั้นมีค่าต่ำกว่าในระดับที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งการแจกแจงความยาวของเส้นใยมีเพียงเยื่อใยยาวล้วนเท่านั้นที่รูปแบบของการแจกแจงความยาวของเส้นใยแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่เยื่อใยสั้นและเยื่อผสมอื่นๆ มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวส่งผลให้สมบัติทางโครงสร้างของแผ่นทดสอบของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยยาวล้วนนั้นมีความแตกต่างจากแผ่นทดสอบอื่นๆ เช่น ความหนา ความหนาแน่นปรากฏ และความต้านอากาศ

สำหรับการทดสอบสภาพพิมพ์ได้พิจารณาจากความสามารถในการรับหมึกพิมพ์หรือค่าความดำพื้นที่บนนั้นให้ผลที่แตกต่างกันไปในแต่ละกระบวนการพิมพ์และในแต่ละสีของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบ พบว่าแนวโน้มโดยส่วนใหญ่ในแต่ละการพิมพ์นั้นเป็นดังนี้

- (1) สำหรับการพิมพ์ออฟเซตและการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนั้น แผ่นทดสอบ H7S3 ให้ค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบโดยรวมสูงสุด
- (2) สำหรับการพิมพ์พ่นหมึก แผ่นทดสอบ H10 จะให้ค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบโดยรวมสูงสุด
- (3) ส่วนการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์พบว่าแผ่นทดสอบทั้ง 4 ชนิด ให้ค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบโดยรวมสูงสุดในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการพิมพ์ออฟเซตและการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนั้นทั้งสมบัติด้านพื้นผิว

และสมบัติเชิงกลมีความสำคัญต่อการพิมพ์ทั้ง 2 ระบบนี้ ส่วนการพิมพ์พ่นหมึกนั้นความเรียบเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อความสามารถในการรับหมึกพิมพ์บนผิวหน้าของแผ่นทดสอบ ในขณะที่การพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟีหมึกพิมพ์ที่หนาจะปกคลุมผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้ทั้งหมด แต่สภาพสัญญาณวิทยาของผิวหน้าของแผ่นทดสอบก็มีผลต่อการปกคลุมของหมึกพิมพ์เช่นกัน

อย่างไรก็ตาม ค่าความดําพื้นทึบของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันไปในแต่ละสีของหมึกพิมพ์และแตกต่างกันในแต่ละกระบวนการพิมพ์ ซึ่งทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์และแผ่นทดสอบ กระบวนการพิมพ์ และแรงกดพิมพ์ ล้วนมีผลต่อการสร้างชั้นหมึกพิมพ์บนผิวหน้าของแผ่นทดสอบ

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการทดสอบสภาพพิมพ์ได้ด้วยสภาพการพิมพ์ที่ให้ค่าความดําพื้นทึบสูงสุดในแต่ละกระบวนการพิมพ์นั้น จะพบความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความยาวของเส้นใยในแผ่นทดสอบกับค่าความดําพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีดําในแต่ละกระบวนการพิมพ์ โดยแผ่นทดสอบที่มีเยื่อใยสั้นผสมอยู่จะมีการแจกแจงความยาวของเส้นใยในรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน และมีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่งผลให้สมบัติของแผ่นทดสอบบางประการที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสภาพพิมพ์ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันด้วย โดยเฉพาะความหนาแน่นปรากฏ ความทึบแสง และความเรียบ และเมื่อนำไปทดสอบสภาพพิมพ์ได้ในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์ พบว่าแผ่นทดสอบที่มีลักษณะดังกล่าวให้ค่าเฉลี่ยความดําพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีดําที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดนั้น พบว่าทั้งหมึกพิมพ์ออฟเซต หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี หมึกพิมพ์แบบพ่นหมึก มีแนวโน้มของค่าความมันวาวเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเส้นใยยาวที่เพิ่มขึ้นในแผ่นทดสอบ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวอาจเป็นเพราะเส้นใยยาวสามารถสะท้อนแสงแบบตรงได้มากกว่าเส้นใยสั้น เนื่องจากมีความกว้างของเส้นใยที่มากกว่า แต่ในส่วนของหมึกพิมพ์แบบโทเนอร์สำหรับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟีนั้นจะส่วนใหญ่ให้แนวโน้มค่าความมันวาวมากน้อยแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับสีของหมึกพิมพ์ เนื่องจากหมึกพิมพ์โทเนอร์สามารถให้ชั้นหมึกพิมพ์ที่หนาและปกคลุมเส้นใยที่ผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้ทั้งหมด

การทดลองตอนที่ 2

แผ่นทดสอบที่ผลิตจากการผสมเยื่อใหม่กับเยื่อเวียนทำใหม่ 2 ชนิด มีทั้งความคล้ายและความแตกต่างกันของสมบัติต่างๆ โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาณเยื่อเวียนทำใหม่ที่มีอยู่ในระบบ แต่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเยื่อเวียนทำใหม่แต่ละชนิดตามวัตถุดิบที่นำมาผลิตเยื่อหรือ

คุณลักษณะของเส้นใยที่มีมาแต่เดิม จึงไม่สามารถระบุถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนปริมาณของเยื่อใยที่ทำใหม่กับสมบัติด้านอื่นๆ

จากการเปรียบเทียบชนิดของแผ่นทดสอบกับการทดสอบสภาพพิมพ์ได้โดยพิจารณาจากค่าความดำพื้นที่บนนั้นพบว่าค่อนข้างแตกต่างกันไปในแต่ละกระบวนการพิมพ์ แต่กระบวนการพิมพ์ที่ปรากฏแนวโน้มให้เห็นเด่นชัด คือ การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ซึ่งในการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อใยที่ทำใหม่จะส่งผลให้ค่าความดำพื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยอาจเกิดจากการที่หมึกพิมพ์เป็นแบบฐานน้ำ จึงส่งผลได้อย่างเด่นชัดกับสภาพของเส้นใยจากเยื่อใยที่ทำใหม่ที่แย่ง ในขณะที่การพิมพ์อื่นๆ นั้นไม่ได้ปรากฏแนวโน้มที่เด่นชัดทั้งหมด

สำหรับค่าความมันวาวที่มุม 75 องศา พบว่าการเติมเยื่อใหม่ด้วยเยื่อใยที่ทำใหม่ทั้งสองชนิดในทั้ง 4 กระบวนการพิมพ์นั้นส่งผลให้ค่าความมันวาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลจากสภาพของเส้นใยที่แย่งและส่งผลให้ความเรียบลดลง แต่การเปรียบเทียบระหว่างเยื่อใยที่ทำใหม่สองชนิด คือ R1 (50:50) กับ R2 (50:50) และระหว่าง R1 (0:100) กับ R2 (0:100) พบว่าโดยส่วนใหญ่ในการพิมพ์ออฟเซต การพิมพ์พ่นหมึก และการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนั้นโดยส่วนใหญ่ R2 (50:50) มีค่าสูงกว่า R1 (50:50) ส่วน R1 (0:100) มีค่าสูงกว่า R2 (0:100) ซึ่งโดยส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเกิดจากสัดส่วนของเส้นใยในระบบที่มีลักษณะคล้ายกันมากกว่าจึงส่งผลให้สามารถรับหมึกพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอและมีการสะท้อนแสงในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดทั้งตอนที่ 1 และ 2 นี้ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อหาความสัมพันธ์ตัวแปรต่างๆ ทั้งสภาพเส้นใย สมบัติของแผ่นทดสอบ และการทดสอบสภาพพิมพ์ได้พบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยที่ 1 ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับสภาพเส้นใยและสมบัติของแผ่นทดสอบ และปัจจัยที่ 2 ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับสมบัติด้านทัศนศาสตร์ ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ในแต่ละสีและในแต่ละกระบวนการพิมพ์มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองนี้ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นทดสอบกับหมึกพิมพ์แต่ละสีในแต่ละกระบวนการพิมพ์ อีกทั้งพบว่าตัวแปรที่สัมพันธ์กับทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าว คือ ดัชนีการหักงอของเส้นใย ดัชนีการโค้งงอของเส้นใย และความเรียบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในด้านสภาพผิวหน้าของแผ่นทดสอบ และยังมีความสัมพันธ์กับค่าความดำพื้นที่ ดังนั้นทั้งในส่วนของคุณภาพเส้นใย สมบัติของแผ่นทดสอบ และสภาพพิมพ์ได้ล้วนมีความเชื่อมโยงกันทั้งหมดในแต่ละด้าน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในด้านสภาพพิมพ์ได้ตามปฏิสัมพันธ์ระหว่างแผ่นทดสอบกับหมึกพิมพ์แต่ละสีในแต่ละกระบวนการพิมพ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรวิเคราะห์ผลของการกระจายขนาดเส้นใยต่อสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ในสัดส่วนต่างๆ กันอย่างละเอียด โดยใช้วิธีการคัดแยกขนาดของเส้นใยในแต่ละช่วง และนำมาขึ้นแผ่นทดสอบเพื่อทดสอบวิเคราะห์ขนาดของเส้นใยต่อสมบัติของกระดาษและสภาพพิมพ์ได้ หรืออาจนำมาผสมในแต่ละช่วงเฉพาะ เพื่อเป็นการทดสอบว่าสัดส่วนของเส้นใยในช่วงใดให้ผลเป็นอย่างไรได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น
- 2) ควรผลิตกระดาษด้วยเครื่องผลิตกระดาษแบบ Pilot plant เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลได้ใกล้เคียงกับการผลิตกระดาษจริงมากกว่าการผลิตกระดาษในลักษณะของแผ่นทดสอบที่ผลิตภายในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งจะได้กระดาษที่มีขนาดใหญ่สามารถนำไปปรับปรุงสมบัติต่างๆ ด้วยการเคลือบหรือการขัดผิว เพื่อให้ได้สมบัติเฉพาะตามที่ต้องการ และสามารถนำไปพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์จริงเพื่อวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ในด้านต่างๆ อย่างละเอียด เช่น การเกิดเม็ดสกปรกนวม (Dot gain) การผลิตน้ำหมึกสี (Tone reproduction) ความเปรียบต่างของภาพ (Print contrast) เป็นต้น
- 3) การพิจารณาความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ของแผ่นทดสอบที่แท้จริง สามารถทำได้โดยการพิมพ์ด้วยเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ภายในห้องปฏิบัติ โดยปล่อยหมึกพิมพ์ในปริมาณต่างๆ จนกระทั่งทราบค่าความดำพื้นที่สูงสุดคงที่ที่แผ่นทดสอบชนิดนั้นจะสามารถรับหมึกพิมพ์ได้
- 4) สำหรับการทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้า (Surface strength) ของแผ่นทดสอบ เมื่อพิจารณาบริเวณที่เกิดการถอนผิว (Picking) บนทดสอบพบว่าค่อนข้างสังเกตได้ยาก โดยเฉพาะในบริเวณตำแหน่งที่เริ่มเกิดการถอนผิว ซึ่งจะเป็นระยะที่ต้องวัดเพื่อคำนวณความแข็งแรงของผิวหน้าของแผ่นทดสอบ สำหรับการทำให้สามารถสังเกตเห็นการถอนผิวในบริเวณเริ่มต้นได้อย่างชัดเจนนั้นทำได้โดยการเปลี่ยนหมึกทดสอบที่ใช้ (Pick test oil) ให้มีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งในบางกรณีอาจทำให้แผ่นทดสอบขาดบริเวณส่วนปลาย อย่างไรก็ตามถ้าหากการใช้หมึกที่มีความหนืดสูงกว่าแล้วทำให้แผ่นทดสอบขาดเร็วเกินไปหรือจุดเริ่มเกิดการถอนผิวอยู่ในระยะที่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ก็จำเป็นต้องปรับลดความหนืดของหมึกทดสอบที่ใช้ลงมา และหากเป็นไปได้ในการเลือกใช้หมึกทดสอบควรเลือกหมึกทดสอบที่ความหนืดระดับใดระดับหนึ่งกับตัวอย่างแต่ละชนิดเพื่อให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำในการเปรียบเทียบมากขึ้น

- 5) ในการถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด อาจพิจารณาเพิ่มเติมในทูลี่ที่ทดสอบสภาพพิมพ์ได้นอกเหนือไปจากสีดำ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งอาจสามารถพิจารณาสังเกตสภาพต่างๆ ของแผ่นทดสอบรวมถึงแนวโน้มต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น
- 6) ในกรณีที่ต้องการศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นทดสอบ การปกคลุมและการซึมผ่านที่ผิวหน้าของหมึกพิมพ์ สามารถวิเคราะห์ในระดับที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope, AFM)
- 7) สำหรับการวิจัยต่อจากนี้ไป อาจพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีของหมึกพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ต่างๆ เพื่อให้ได้หมึกพิมพ์ที่มีสมบัติที่สามารถควบคุมได้และทราบองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่ชัดเจน และอาจสามารถศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างหมึกพิมพ์กับแผ่นทดสอบชนิดต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น



รายการอ้างอิง

1. European Recovered Paper Council. Paper Recycling in Europe at 71.7%. [Online]. Available from : http://www.paperforrecycling.eu/uploads/Modules/Publications/WEB_monitoring%20report%202013-3.pdf. [2014, November 17].
2. Paper Recycles. Paper Recycling: A True Environmental Success Story. [Online]. 2013. Available from: <http://www.paperrecycles.org/recycling-resources/paper-recycling-a-true-environmental-success-story>. [2014, November 17].
3. The Thai Pulp and Paper Industries Association. Directory 2013-2015. Bangkok: Amarin Printing and Publishing, 2014.
4. Sjöström, E., Wood Chemistry: Fundamentals and Applications, 2nd ed., 1993, San Diego, CA: Academic Press, 1993
5. Bureau, H.E. What the Printer Should Know about Paper. Pennsylvania, PA: Graphic Arts Technical Foundation, 1983
6. Canfor Pulp Ltd. Fibre Morphology. [Online]. 2003. Available from: http://www.te-map.com/docs/default-source/default-document-library/morph_mini.pdf?sfvrsn=0 [2014, September 13].
7. Perng, Y., Wang, E.I., Cheng, Y. and Chen, Y. Effects of Fiber Morphological Characteristics and Refining on Handsheet Properties. Taiwan Journal of Forest Science 24 (February 2009) : 127-139.
8. The Department of Environment and Climate Change (NSW). Know Your Printing Paper: A Guide to Purchasing Recycled Content Printing Paper for Corporate Stationery and Promotional Materials. Sydney : Department of Environment and Climate Change NSW, 2009
9. Kinsella, S. Paperwork: Comparing Recycled to Virgin Paper [Online]. 2012. Available from : <http://conservatree.org/learn/WhitePaper%20Why%20Recycled.pdf> [2014, September 26]
10. Conservatree. The Environmental Paper Listening Study Chapter Two: Recycled Content [Online]. 2003. Available from : <http://www.conservatree.org/paper-listeningstudy/RecyPaperOfcMachines.pdf> [2014, September 26].

11. Xerox Coporation. Xerox and Paper: A Sustainability Reference Guide [Online]. 2008. Available from : www.xerox.com/downloads/.../sustainabilityRef_XE_sngl_rev_LR.pdf [2014, September 26].
12. Nazhad, M.M. Fundamentals of Strength Loss in Recycled Paper. Doctor's Thesis, The Faculty of Graduate Studies, Department of Forestry, The University of British Columbia, 1994.
13. Venditti, R.A. Paper Recycling Technology [Online]. 2008. Available from : <http://www4.ncsu.edu/~richardv/documents/Presentation108HOdetailedpart1best.pdf> [2013, January 8].
14. Waterhouse, J.F. and Omori, K. The Effect of Recycling on the Fines Contribution to Selected Paper Properties. In C.F. Baker (ed), Transactions of the Fundamental Research Symposium Vol. 2, 1261-1292. Leatherhead Surrey, UK : PIRA International, 1993.
15. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. ตอนที่ 8.3 สมบัติกระดาษ. ใน เอกสารการสอนชุดวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพิมพ์ หน่วยที่ 8-15 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1), หน้า 67-98. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2552.
16. ISO Technical Committees. ISO 536 Paper and Board - Determination of Grammage. 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1995.
17. ISO Technical Committees. ISO 534 Paper and Board - Determination of Thickness and Apparent Bulk Density or Apparent Sheet Density. 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1988.
18. ISO Technical Committees. ISO 5636-5 Paper and Board - Determination of Air Permeance and Air Resistance (Medium Range) - Part 5: Gurley Method. 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2003.
19. ISO Technical Committees. ISO 1974 Paper - Determination of Tearing Resistance (Elmendorf Method). 3rd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1990.

20. ISO Technical Committees. ISO 1924-2 Paper and Board - Determination of Tensile Properties - Part 2: Constant Rate of Elongation Method. 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1994.
21. ISO Technical Committees. ISO 11475 Paper and Board - Determination of CIE Whiteness, D65/10 Degrees (Outdoor Daylight). 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1999.
22. ISO Technical Committees. ISO 11476 Paper and Board - Determination of CIE-Whiteness,C/2 Degrees (Indoor Illumination Conditions). 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2000.
23. ISO Technical Committees. ISO 2470 Paper, Board and Pulps - Measurement of Diffuse Blue Reflectance Factor (ISO Brightness). 3rd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1999.
24. ISO Technical Committees. ISO 2471 Paper and Board - Determination of Opacity (Paper Backing) - Diffuse Reflectance Method. 3rd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1998.
25. ISO Technical Committees. ISO 5631-1 Paper and Board - Determination of Colour by Diffuse Reflectance - Part 1: Indoor Daylight Conditions (C/2 Degrees). 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2009.
26. ISO Technical Committees. ISO 5631-2 Paper and Board - Determination of Colour by Diffuse Reflectance - Part 2: Outdoor Daylight Conditions (D65/10 Degrees). 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2014.
27. ISO Technical Committees. ISO 5631-3 Paper and Board - Determination of Colour by Diffuse Reflectance - Part 3: Indoor Illumination Conditions (D50/2 Degrees). 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2014.
28. ISO Technical Committees. ISO 8254-1 Paper and Board - Measurement of Specular Gloss - Part 1: 75 Degree Gloss with a Converging Beam, TAPPI Method. 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1999.

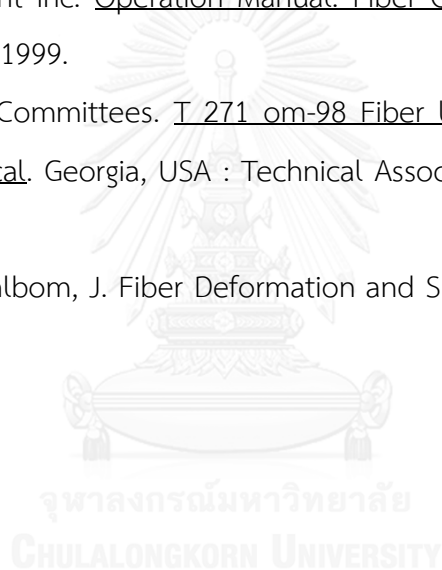
29. ISO Technical Committees. ISO 535 Paper and Board - Determination of Water Absorptiveness - Cobb Method. 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1991.
30. IGT Testing Systems. IGT Information Leaflet W24 - Print Penetration (Oil Absorption). Amsterdam, Netherlands : IGT Testing Systems, 2006.
31. ISO Technical Committees. ISO 5627 Paper and Board - Determination of Smoothness (Bekk Method). 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1995.
32. ISO Technical Committees. ISO 3783 Paper and Board - Determination of Resistance to Picking - Accelerated Speed Method Using the IGT-Type Tester (Electric Model). 2nd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2006.
33. จันทนา ทองประยูร. ตอนที่ 8.1 หลักการพิมพ์และสิ่งพิมพ์ที่ได้จากการพิมพ์ออฟเซต. ใน เอกสารการสอนชุดวิชากระบวนการพิมพ์พื้นนูนและพื้นราบ หน่วยที่ 8-15, หน้า 5-22. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2552.
34. Conquestgraphics. How Offset Printing Works [online]. 2014. Available from : <http://www.conquestgraphics.com/Help-Center/How-Offset-Printing-Works> [2014, September 24].
35. จันทนา ทองประยูร. ตอนที่ 1.3 กระบวนการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี. ใน เอกสารการสอนชุดวิชา กระบวนการพิมพ์พื้นนูนและพื้นราบ หน่วยที่ 1-7, หน้า 40-60. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2552.
36. PNEAC. Reducing Ink and Solvent Use in Enclosed Flexographic Inking Systems [online]. 2014. Available from: <http://www.pneac.org/sheets/flexo/inkingsystems.pdf> [2014, September 24].
37. ผกามาศ ผจญแก้ว. หน่วยที่ 12 การพิมพ์ระบบพ่นหมึก. ใน เอกสารการสอนชุดวิชา กระบวนการพิมพ์พื้นลึก การพิมพ์พื้นฉลุลายผ้า และการพิมพ์ไร่แรงกด หน่วยที่ 8-15, หน้า 278-352. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2542.
38. อีระ ตั้งวิชาชาญ. หน่วยที่ 13 การพิมพ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์. ใน เอกสารการสอนชุดวิชา กระบวนการพิมพ์พื้นลึก การพิมพ์พื้นฉลุลายผ้า และการพิมพ์ไร่แรงกด หน่วยที่ 8-15, หน้า 354-458. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2542.

39. จันทรา โกมาสถิตย์. ตอนที่ 2.3 โทนเนอร์. ใน เอกสารการสอนชุดวิชาวัสดุทางการพิมพ์ หน่วยที่ 1-7, หน้า 51-63. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2552.
40. Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology. Electrophotographic [online]. 2014. Available from : <http://www.dp3project.org/technologies/digital-printing/electrophotographic> [2014, September 24].
41. ผกามาศ ผจญแก้ว. ตอนที่ 10.4 ค่าความดำในการพิมพ์. ใน เอกสารการสอนชุดวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการพิมพ์ หน่วยที่ 8-15 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1), หน้า 57-68. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2552.
42. X-Rite, Incorporated. A Guide to Understanding Graphic Arts Densitometry [Online]. 2003. Available from : http://www.xrite.com/documents/literature/en/L7-093_Understand_Dens_en.pdf [2014, April 7].
43. Ohta, N. and Robertson, A.R. Colorimetry Fundamentals and Applications. Chichester : John Wiley & Sons, 2005.
44. X-Rite, Incorporated. The Color Guide and Glossary [Online]. 2004. Available from: https://xritephoto.com/documents/literature/en/L11-029_color_guide_EN.pdf [2014, April 7].
45. Wyszecki, G. and Stiles, W.S. Color Science, 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 2000.
46. BYK-Gardner GmbH. Introduction - Gloss Measurement [Online]. 2009. Available from : http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/Apparent/en/Intro_Gloss.pdf#page=1&zoom=auto,-121,789 [2014, September 25].
47. Nadal, M.E., Early, E.A. and Thompson, E.A. Specular Gloss. NIST Special Publication SP250-70. U.S. Department of Commerce, 2006.
48. ISO Technical Committees. ISO 2813 Paints and Varnishes - Determination of Gloss Value at 20 Degrees, 60 Degrees and 85 Degrees. 4th ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2014.
49. ISO Technical Committees. ISO 12647-2 Graphic Technology - Process Control for the Production of Half-Tone Colour Separations, Proof and Production Prints - Part 2: Offset Lithographic Processes. 3rd ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2013.

50. Paul N. Gardner Company, Inc. NovoLITE Statistical Glossmeter [Online]. 2004. Available from : http://www.gardco.com/images/gloss/novogloss/novogloss_sample.jpg [2014, September 24]
51. Corson, S.R., Flowers, A.G., Morgan, D.G. and Richardson, J.D. Paper Structure and Printability as Controlled by Fibrous Elements. TAPPI (2004) : 14-18.
52. He, J., Batchelor, W.J. and Johnston, R.E. A Microscopic Study of Fibre-Fibre Contacts in Paper. Appita 57 (July 2004) : 292-298.
53. Khantayanuwong, S., Enomae, T. and Onabe, F. Effect of Fiber Hornification in Recycling on Bonding Potential at Interfiber Crossing: Confocal Laser-scanning Microscopy (CLSM). Japan Tappi Journal 56 (February 2002) : 239-245.
54. Lee, H., Nam, W., Sohn, S. and Paik, K. Effect of Different Types of Fines on the Properties of Recycled Chemical Pulp. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 17 (2011) : 100-104.
55. Tåg, C.-M., Juuti, M., Peiponen and K.-E., Rosenholm, J.B. Print Mottling: Solid-Liquid Adhesion Related to Optical Appearance. Colloids and Surfaces A 317 (2008) : 658-665.
56. Roberts, R.J. Liquid Penetration into Paper. Doctor's Thesis, Department of Applied Mathematics, Research School of Physical Sciences and Engineering, The Australian National University, 2004.
57. Luu, W.T. The Setting of Water-based Inks on Uncoated Substrates. Doctor's Thesis, Department of Chemical Engineering, The University of Maine, 2010.
58. Lokendra, P., Agate, S. and Paul D. Effects of Paper Manufacturing Factors on Inkjet Print Quality and Lightfastness. In Proceedings of the NIP & Digital Fabrication Conference, International Conference on Digital Printing Technologies, 749 – 754. Society for Imaging Science and Technology, 2007.
59. Chen, S. Effect of Paper Properties on Xerographic Print Quality. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, 2009.

60. Pu, C.J. and Crouse, B.W. Printing Characteristics of Uncoated Paper with Recycle Fibers: Color Gamut and Image Sharpness. IPST Technical Paper Series Number 663. Georgia : Institute of Paper Science and Technology, 1997.
61. Juric, I., Novakovic, D., Karlovic, I. and Tomic, I. The Possibility of Using Recycled Paper in Digital Printing. Advanced Technologies 2 (2013) : 26-32.
62. TAPPI Technical Committees. T 200 sp-01 Laboratory Beating of Pulp (Valley Beater Method). Georgia, USA : Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2001.
63. TAPPI Technical Committees. T 227 om-99 Freeness of Pulp (Canadian Standard Method). Georgia, USA : Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1999.
64. ISO Technical Committees. ISO 16065-1 Pulps - Determination of Fibre Length by Automated Optical Analysis - Part 1: Polarized Light Method. 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2001.
65. ISO Technical Committees. ISO 5269-2 Pulps - Preparation of Laboratory sheets for Physical Part 2: Rapid-Köthen Method. 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 1998.
66. คณะกรรมการวิชาการ คณะที่ 117 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคุณภาพกระดาษ (กระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน). มอก.287-2533 กระดาษพิมพ์และเขียน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2545.
67. TAPPI Technical Committees. T 480 om-99 Specular Gloss of Paper and Paperboard at 75 Degrees. Georgia, USA : Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1999.
68. ISO Technical Committees. ISO 13656 Graphic Technology - Application of Reflection Densitometry and Colorimetry to Process Control or Evaluation of Prints and Proofs. 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2000.
69. IGT Testing Systems. IGT Information Leaflet W31 - Picking. Amsterdam, Netherlands : IGT Testing Systems, 2006.

70. ISO Technical Committees. ISO 2834-1 Graphic technology - Laboratory Preparation of Test prints - Part 1: Paste Inks. 1st ed. Geneva, Switzerland : International Organization for Standardization, 2006.
71. IGT Testing Systems. IGT F1 Printability Tester for Flexo and Gravure Inks [online]. 2002. Available from: <http://www.igt.nl/gb/awm/bestanden/products/f1-uk.pdf> [2013, August 8].
72. Steven Enterprises Inc. Canon Image PROGRAF iPF6300 Printer [online]. 2013. Available from: <http://www.plotters.com/CANONNEWEQUIP/canon-imageprograf-ipf6300> [2013, August 8].
73. OpTest Equipment Inc. Operation Manual: Fiber Quality analysis, Code LDA02. Ontario: Canada, 1999.
74. TAPPI Technical Committees. T 271 om-98 Fiber length of Pulp and Paper by Automated Optical. Georgia, USA : Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1998.
75. Mohlin, U-B., Dahlbom, J. Fiber Deformation and Sheet Strength. TAPPI 79 (June 1996) : 105.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก. การคำนวณการเตรียมน้ำเยื่อและปริมาณสารเคมีที่ใช้

1. การคำนวณปริมาณเยื่อที่ใช้ในการบดเยื่อ

ในการบดเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 กำหนดให้ใช้น้ำหนักเยื่อแห้งจำนวน 360 กรัม ในน้ำปริมาตร 23 ลิตร (ประมาณเทียบเท่ากับน้ำหนัก 23,000 กรัม เมื่อความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ดังนั้นค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency) มีค่าเท่ากับร้อยละ $(360/23,000) \times 100 = 1.57$

ตัวอย่างวิธีการคำนวณโดยกำหนดให้เยื่อมีความชื้นที่ร้อยละ 80 ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

- เยื่อมีความชื้นที่ร้อยละ 80 หมายความว่า เป็นเยื่อเปียกที่เมื่อนำชั่งน้ำหนักเยื่อ 100 กรัม จะมีเยื่อแห้งอยู่จำนวน 20 กรัม อีก 80 กรัมเป็นน้ำหนักของน้ำ
- ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 20 กรัม จะต้องชั่งน้ำหนักเยื่อมา 100 กรัมจากเยื่อเปียก
- ดังนั้นถ้าต้องการเยื่อแห้ง 360 กรัม ต้องชั่งน้ำหนักเยื่อที่มีความชื้นเท่ากับ $(100 / 20) \times 360 = 1,800$ กรัม

ดังนั้นต้องชั่งเยื่อที่มีความชื้นร้อยละ 80 มา 1,800 กรัม จึงจะได้เยื่อแห้ง 360 กรัม ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าในเยื่อเปียกที่ชั่งมาจำนวน 1,800 กรัม จะมีน้ำอยู่ในเยื่อแล้วปริมาณหนึ่งซึ่งคิดเป็นจำนวน $1,800 - 360 = 1,440$ กรัม ดังนั้นต้องเติมน้ำลงไปเพิ่มอีกจำนวน 21,560 กรัม (มาจาก $23,000 - 1,440$) เพื่อให้ได้น้ำมีปริมาตรทั้งหมดเป็น 23,000 กรัม จึงจะทำให้ น้ำเยื่อที่เตรียมสำหรับการบดเยื่อนี้มีความเข้มข้นร้อยละ 1.57 ตามมาตรฐานการทดสอบ

2. การคำนวณปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการทดสอบหาค่าสภาพระบายได้ (Freeness)

ในการคำนวณปริมาณน้ำเยื่อสำหรับการทดสอบหาค่าสภาพระบายได้ตามมาตรฐาน TAPPI T 227 om-94 โดยกำหนดให้ใช้ความเข้มข้นของน้ำเยื่อที่ร้อยละ 0.3 ในปริมาตรทั้งหมด 1,000 มิลลิลิตร สามารถทำได้โดยตวงน้ำเยื่อมาจากเครื่องบดเยื่อ (Valley beater) ซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำเยื่อเท่ากับ 1.57 ที่ได้จากการบดเยื่อตามมาตรฐาน TAPPI T 200 sp-01 ในการทดลองก่อนหน้านี้นี้ โดยการคำนวณปริมาตรน้ำเยื่อที่ต้องตวงจากเครื่องบดเยื่อแล้วปรับความเข้มข้นให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.3 ในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ทำได้โดยสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

- เมื่อ
- C1 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อตามมาตรฐานที่ต้องการคือ ร้อยละ 0.3
 - C2 = ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในเครื่องบดเยื่อคือ ร้อยละ 1.57
 - V1 = ปริมาณน้ำเยื่อที่ใช้ในการทดสอบหาค่าสภาพระบายได้ คือ 1,000 มิลลิลิตร
 - V2 = ปริมาณน้ำเยื่อที่ต้องตวงจากเครื่องบดเยื่อ

$$0.3 \times 1000 = 1.57 \times V_2$$

$$V_2 = (0.3 \times 1000) / 1.57$$

$$V_2 = 191 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้นจะต้องตวงน้ำเยื่อจากเครื่องบดเยื่อที่ความเข้มข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 1.57 มา 192 มิลลิลิตร แล้วจึงทำการเติมน้ำจนได้ปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปทดสอบหาค่าสภาพระบายได้

3. การคำนวณปริมาณเยื่อแห้งสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบ (Handsheet)

กำหนดให้ขึ้นแผ่นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งในการเตรียมน้ำเยื่อสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบ จะต้องคำนวณหาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นทดสอบผลิตที่ได้จากเครื่องขึ้นแผ่น โดยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบ Rapid-Kothen ที่ใช้ตามมาตรฐาน ISO 5269-2:1998 นั้น ผลิตแผ่นทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังนั้นขนาดพื้นที่ของแผ่นทดสอบจะเท่ากับ 0.0314 ตารางเมตร (ได้จาก $\pi \times 0.1^2$) ดังนั้นถ้าต้องการผลิตแผ่นทดสอบที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร จะต้องคำนวณปริมาณเยื่อแห้งที่ใช้ดังนี้

- ความหมายของแผ่นทดสอบที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร คือ แผ่นทดสอบขนาด 1 ตารางเมตร จะมีเยื่อแห้งอยู่ 80 กรัม
- ถ้าแผ่นทดสอบมีขนาด 0.0314 ตารางเมตร จะต้องใช้เยื่อแห้งในการขึ้นแผ่นเท่ากับ $(80 / 1) \times 0.0314 = 2.513$ กรัม

ดังนั้นจะต้องใช้เยื่อแห้งจำนวน 2.513 กรัม สำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบเพื่อให้ได้น้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 80 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนชุดการผลิตแผ่นทดสอบ จะทำอย่างน้อยจำนวน 3 ชุด เพื่อให้เพียงพอต่อการทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของกระดาษ ซึ่งในแต่ละชุดการผลิตแผ่นทดสอบ

จะผลิตแผ่นทดสอบได้จำนวนประมาณ 20 แผ่น ดังนั้นจะต้องใช้เยื่อแห้งทั้งหมดในการขึ้นแผ่นเท่ากับ $2.513 \times 20 = 50.26$ กรัม

สรุปประเด็นสำคัญในการเตรียมน้ำเยื่อได้ดังนี้

1. น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นทดสอบ 80 กรัมต่อตารางเมตร
2. ความเข้มข้นของน้ำเยื่อในการขึ้นแผ่นทดสอบเท่ากับร้อยละ 0.3
3. ปริมาณเยื่อแห้งที่ใช้ในการขึ้นแผ่นทดสอบ 1 แผ่น คือ 2.513 กรัม
4. ปริมาณน้ำเยื่อที่ใช้ในการขึ้นแผ่นทดสอบ 1 แผ่น คือ $(100 / 0.3) \times 2.513 = 837.67$ กรัม
5. ใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ จะผลิตแผ่นทดสอบได้จำนวนประมาณ 20 แผ่น
6. ปริมาณเยื่อแห้งที่ใช้ใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ คือ 50.26 กรัม หรือประมาณ 60 กรัม
7. ปริมาณน้ำเยื่อที่ใช้ในการขึ้นแผ่นทดสอบ 20 แผ่น คือ $(837.67 \times 20) = 16,753.4$ กรัม หรือประมาณ 20,000 กรัม

4. การเตรียมและการคำนวณปริมาณแป้งประจุบวก (Cationic starch)

ในการเติมแป้งประจุบวกลงในน้ำเยื่อจะเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้งจากการคำนวณปริมาณเยื่อแห้งสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบทราบว่าใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบจะมีปริมาณเยื่อแห้งประมาณ 60 กรัม ดังนั้นปริมาณแป้งประจุบวกที่ต้องการเท่ากับ $(0.3 / 100) \times 60 = 0.18$ กรัม

การเตรียมสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ได้มาจากการเตรียมสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ซึ่งเตรียมได้โดยการชั่งแป้งประจุบวกจำนวน 2 กรัม เติมน้ำจนได้น้ำหนัก 100 กรัม จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิประมาณ 80–90 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไม่ให้เกิดอืด แล้วจับเวลาในการต้มจนเห็นเนื้อน้ำแป้งจากสีขาวขุ่นกลายเป็นใส บันทึกเวลา (ใช้เวลาประมาณ 7 นาที) จากนั้นต้มต่อไปอีก 5 นาที แล้วยกลงพักทิ้งไว้ให้เย็น ในการเตรียมสารละลายแป้งประจุบวกทุกครั้งให้ใช้เวลาในการเตรียมเท่ากันทุกครั้ง สารละลายแป้งประจุบวกที่เตรียมแต่ละครั้งสามารถใช้ได้ประมาณ 2–3 วัน โดยเก็บแช่ไว้ในตู้เย็น และเมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้ให้เจือจางสารละลาย โดยใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบจะใช้แป้งประจุบวกร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

วิธีการเจือจางสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

- เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายแป้งประจุบวกร้อยละ 2
 C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายแป้งประจุบวกร้อยละ 0.3
 V_1 = ปริมาณสารละลายแป้งประจุบวกคือ 30 กรัม
 V_2 = ปริมาณสารละลายแป้งประจุบวกที่เจือจาง

$$2 \times 30 = 0.3 \times V_2$$

$$V_2 = (2 \times 30) / 0.3$$

$$V_2 = 200 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นใช้สารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 แบ่งออกมาปริมาณ 30 กรัม แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาณ 200 กรัม จึงจะได้สารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3

ใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ (Batch) แป้งประจุบวกที่ต้องการเติมเท่ากับ 0.18 กรัม

จากการเตรียมสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ที่มีปริมาณ 200 กรัม จะมีปริมาณแป้งประจุบวกอยู่ทั้งหมดเท่ากับ $(0.3 / 100) \times 200 = 0.6$ กรัม

ในการเติมแป้งประจุบวก 0.18 กรัม จะสามารถคำนวณหาปริมาณในสภาพของสารละลายได้จากสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ที่มีปริมาณ 200 กรัม ได้เท่ากับ $(200 / 0.6) \times 0.18 = 60$ กรัม

ดังนั้นจึงสามารถเติมสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ปริมาณ 60 กรัม ลงไปในน้ำเยื่อต่อ 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ

หมายเหตุ

ในการเตรียมสารละลายแป้งประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ในทางปฏิบัติควรเตรียมเผื่อไว้ โดยระดับที่เหมาะสมคือ ใช้แป้งประจุบวก 4 กรัม ละลายน้ำ 200 กรัม ในบีกเกอร์ และควรปิดปากบีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการระเหยของไอน้ำ เมื่อต้องการใช้งานโดยการเจือจางที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ก็สามารถทำได้ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้นเช่นกัน

5. การเตรียมและการคำนวณปริมาณสารด้านการซึม (AKD)

ในการเติมสารด้านการซึมลงในน้ำเยื่อนั้นจะเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จากการคำนวณปริมาณเยื่อแห้งสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบที่ผ่านมาจะทราบได้ว่าใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบจะมีปริมาณเยื่อแห้งประมาณ 60 กรัม ดังนั้นปริมาณสารด้านการซึมที่ต้องการเท่ากับ $(0.5 / 100) \times 60 = 0.3$ กรัม

ตามปกติสารด้านการซึมจะอยู่ในสภาพของสารละลายที่ผลิตโดยบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นถ้าสารด้านการซึมมีปริมาณของแข็ง (Solid content) ที่ร้อยละ 12.3 ต้องคำนวณหาปริมาณสารด้านการซึมในสภาพของสารละลายว่ามีปริมาณสารด้านการซึมเท่ากับเท่าไร ในกรณีที่สารด้านการซึมมีปริมาณของแข็งร้อยละ 12.3 ดังนั้นต้องใช้สารด้านการซึมในสภาพของสารละลายจำนวนเท่ากับ $(100 / 12.3) \times 0.3 = 2.44$ กรัม และเพื่อความสะดวกในการเตรียมสารด้านการซึมจะเตรียมพร้อมกันสำหรับ 3 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ ดังนั้นจะต้องใช้สารด้านการซึมในสภาพของสารละลายเท่ากับ $2.44 \times 3 = 7.32$ กรัม

ในการเตรียมสารด้านการซึมจะเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งสามารถเก็บไว้ใช้ต่อได้อีก โดยการแช่เก็บไว้ในตู้เย็น ซึ่งจะใช้ได้ประมาณ 2-3 วัน โดยในแต่ละครั้งที่มีการแบ่งออกมาใช้จะต้องเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.1 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดผลคลาดเคลื่อนจากการใช้สารด้านการซึมที่ความเข้มข้นสูง

วิธีการเตรียมสารด้านการซึมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 นั้น เตรียมได้โดยการใส่สารด้านการซึมในสภาพของสารละลายที่ปริมาณ 7.32 กรัม ซึ่งจะสารละลายนี้จะมีปริมาณของสารด้านการซึมเท่ากับ $(12.3 / 100) \times 7.32 = 0.9$ กรัม ดังนั้นปริมาณของสารด้านการซึมที่ 0.9 กรัม สามารถเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 1 โดยการเติมน้ำให้ได้ปริมาณสุดท้ายเท่ากับ $(100 / 1) \times 0.9 = 90$ กรัม

ในการแบ่งสารด้านการซึมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ออกมาใช้ จะแบ่งใส่สารด้านการซึมปริมาณ 30 กรัม ต่อ 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ ซึ่งในสารละลายนี้จะมีปริมาณของสารด้านการซึมที่ 0.3 กรัม โดยต้องเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.1 ด้วยการเติมน้ำให้ได้ปริมาณสุดท้ายเท่ากับ $(100 / 0.1) \times 0.3 = 300$ กรัม

6. การเตรียมและการคำนวณปริมาณ C-PAM

ในการเติมสาร C-PAM ลงในน้ำเยื่อนั้นจะเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.015 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในคำนวณปริมาณเยื่อแห้งสำหรับการขึ้นแผ่นทดสอบทราบว่าใน 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบมีปริมาณเยื่อแห้งประมาณ 60 กรัม ดังนั้นปริมาณ C-PAM ที่ต้องการเท่ากับ $(0.015 / 100) \times 60 = 0.009$ กรัม

C-PAM ที่ถูกผลิตโดยบริษัทผู้ผลิตจะมีลักษณะอยู่ในสภาพของแข็ง ซึ่งมีปริมาณของแข็ง (Solid content) ที่ร้อยละ 91.9 จึงจำเป็นที่จะต้องคำนวณหาปริมาณ C-PAM ที่ต้องชั่งมาใช้งานจริงว่าเท่ากับเท่าไร ซึ่งในกรณีนี้จะต้องชั่ง C-PAM มาเท่ากับ $(100 / 91.9) \times 0.009 = 0.0098$ กรัม และเพื่อความสะดวกในการเตรียมสารด้านการชิมจะเตรียมพร้อมกันสำหรับ 3 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ ดังนั้นจะต้องชั่ง C-PAM มา $0.0098 \times 3 = 0.0294$ กรัม ดังนั้น C-PAM ที่ชั่งมา 0.0294 กรัม นี้จะมีปริมาณของแข็งเท่ากับ $(91.9 / 100) \times 0.0294 = 0.027$ กรัม

ในการเตรียมสารละลาย C-PAM จะเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งสามารถเก็บไว้ใช้ได้ได้อีกโดยแช่เก็บไว้ในตู้เย็น ซึ่งจะใช้ได้ประมาณ 2-3 วัน โดยในแต่ละครั้งที่มีการแบ่งออกมาใช้จะต้องเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.1 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดผลคลาดเคลื่อนจากการใช้สาร C-PAM ที่ความเข้มข้นสูง

วิธีการเตรียม C-PAM จะเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการชั่ง C-PAM ที่ปริมาณ 0.027 กรัม ซึ่งมีปริมาณของ C-PAM เท่ากับ $(91.9 / 100) \times 0.0294 = 0.027$ กรัม ดังนั้นปริมาณของ C-PAM ที่ 0.027 กรัม สามารถเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 1 โดยการเติมน้ำให้ได้ปริมาณสุดท้ายเท่ากับ $(100 / 1) \times 0.027 = 2.7$ กรัม

ในการแบ่งสารละลาย C-PAM ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ออกมาใช้ จะแบ่งใช้สารละลาย C-PAM ปริมาณ 30 กรัม ต่อ 1 ชุดการผลิตแผ่นทดสอบ ซึ่งในสารละลายนี้จะมีปริมาณของสาร C-PAM ที่ 0.3 กรัม โดยเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.1 ด้วยการเติมน้ำให้ได้ปริมาณสุดท้ายเท่ากับ $(100 / 0.1) \times 0.3 = 300$ กรัม

ข. สมบัติทั้งหมดของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ในการทดลองตอนที่ 1

ตารางที่ 5-1 สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใหม่ในการทดลองตอนที่ 1

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว			
		100:0 (H10)	70:30 (H7S3)	50:50 (H5S5)	0:100 (S10)
1. สมบัติทางโครงสร้าง					
1.1 น้ำหนักมาตรฐาน	g/m ²	80.03±0.68	80.66±0.23	81.20±0.69	80.30±0.09
1.2 ความหนา	µm	124±3	126±2	122±4	113±4
1.3 ความหนาแน่นปรากฏ	kg/m ³	648±11	642±9	661±9	706±25
1.4 ความต้านอากาศ	s	12.13±0.28	15.45±0.22	29.62±2.22	157.52±23.85
2. สมบัติด้านเชิงกล					
2.1 ดัชนีความต้านแรงฉีก	mN•m ² /g	5.99±0.10	9.24±0.31	10.77±0.64	12.55±0.76
2.2 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	Nm/g	42.64±0.75	45.41±0.18	50.89±1.08	69.08±2.14
3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์					
3.1 ความขาว	%	61.09±0.67	61.47±0.48	56.24±1.00	53.03±0.61
3.2 ความขาวสว่าง	%	79.93±0.18	80.40±0.23	78.11±0.47	76.67±0.19
3.3 ความทึบแสง	%	90.05±0.06	88.13±0.08	86.56±0.52	77.76±0.44
3.4 ค่าสี (CIELAB Value)					
วิธีการวัดแบบ	(L*)	94.72±0.01	94.94±0.06	94.37±0.16	93.97±0.04
D/8°, D65, 10°	(a*)	0.47±0.03	0.41±0.03	0.71±0.09	0.79±0.06
	(b*)	5.70±0.14	5.73±0.07	6.56±0.17	7.04±0.13
วิธีการวัดแบบ	(L*)	94.59±0.03	94.65±0.03	94.23±0.08	93.51±0.13
0°/45°, D50, 2°	(a*)	-0.17±0.04	-0.29±0.05	-0.24±0.04	-0.43±0.04
White backing, No filter	(b*)	4.63±0.08	4.35±0.08	4.87±0.03	4.67±0.12
3.5 ความมันวาวที่มุม 75 องศา	GU	6.0±0.1	6.5±0.1	6.9±0.2	7.2±0.2
4. สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทาน					
4.1 การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที	g/m ²	18.4±0.2	17.7±0.1	18.5±0.1	18.0±0.4
4.2 การพิมพ์ซึมน้ำ	m ⁻¹	30.16±0.69	29.57±0.67	26.44±0.72	27.40±0.38
5. สมบัติด้านพื้นผิว					
5.1 ความเรียบ	s	15.0±1.3	14.9±1.3	14.5±0.9	7.1±0.6
5.2 ความแข็งแรงของผิวหน้า	N/m	42.93±2.81	46.00±1.84	63.11±4.50	77.73±4.62

ค. สมบัติทั้งหมดของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ในการทดลองตอนที่ 2

ตารางที่ 5-2 สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยใหม่ในการทดลองตอนที่ 2

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	ชนิดของแผ่นทดสอบ				
		H7S3	R1 (50:50)	R2 (50:50)	R1 (0:100)	R2 (0:100)
1. สมบัติทางโครงสร้าง						
1.1 น้ำหนักมาตรฐาน	g/m ²	80.66±0.23	80.92±1.06	80.29±1.06	80.59±0.69	81.04±0.43
1.2 ความหนา	µm	126±2	133±4	132±2	139±3	136±3
1.3 ความหนาแน่นปรากฏ	kg/m ³	642±9	606.05±10.0	606.18±6.54	579.59±4.58	592.38±7.45
1.4 ความต้านอากาศ	s	15.45±0.22	6.81±0.34	6.86±0.24	3.22±0.04	2.82±0.10
2. สมบัติด้านเชิงกล						
2.1 ดัชนีความต้านแรงฉีก	mN•m ² /g	9.24±0.31	7.30±0.15	7.50±0.22	4.32±0.13	5.73±0.21
2.2 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง	Nm/g	45.41±0.18	31.70±0.86	31.83±1.16	23.65±0.35	23.05±0.59
3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์						
3.1 ความขาว	%	61.47±0.48	100.46±0.25	109.82±4.50	122.41±2.98	129.04±0.31
3.2 ความขาวสว่าง	%	80.40±0.23	88.63±0.16	89.73±1.73	94.28±1.06	94.40±0.05
3.3 ความทึบแสง	%	88.13±0.08	94.48±0.31	95.30±0.13	96.36±0.28	97.08±0.20
3.4 ค่าสี (CIELAB Value)						
วิธีการวัดแบบ	(L*)	94.94±0.06	93.28±0.05	92.34±0.22	92.82±0.18	91.65±0.06
D/8°, D65, 10°	(a*)	0.41±0.03	1.20±0.01	1.81±0.08	2.04±0.07	2.21±0.05
	(b*)	5.73±0.07	-3.67±0.03	-6.14±0.89	-8.69±0.58	-10.61±0.09
วิธีการวัดแบบ	(L*)	94.65±0.03	94.01±0.26	92.98±0.13	91.82±0.03	90.57±0.04
0°/45°, D50, 2°	(a*)	-0.29±0.05	0.84±0.01	1.41±0.02	1.46±0.04	1.66±0.01
White backing, No filter	(b*)	4.35±0.08	-1.66±0.09	-3.35±0.66	-5.41±0.37	-6.64±0.16
3.5 ความมันวาวที่มุม 75 องศา	GU	6.5±0.1	6.07±0.01	6.12±0.07	6.00±0.12	6.03±0.04
4. สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน						
4.1 การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที	g/m ²	17.7±0.1	15.4±0.2	15.3±0.1	16.9±0.3	15.4±0.3
4.2 การพิมพ์ซึมผ่าน	m ⁻¹	29.57±0.67	37.74±0.71	37.74±0.71	40.92±2.51	38.97±0.89
5. สมบัติด้านพื้นผิว						
5.1 ความเรียบ	s	14.9±1.3	9.8±0.6	9.2±0.7	9.2±0.6	7.5±0.5
5.2 ความแข็งแรงของผิวหน้า	N/m	46.00±1.84	24.35±2.62	23.66±2.22	19.75±0.90	20.00±0.50

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติส่วนตัว

นายพิวัส สุขณียุทธ เกิดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2527 จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ปี พ.ศ. 2550
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ปี พ.ศ. 2554
หลักสูตรเทคโนโลยีทางการพิมพ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธราช
- เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต ปีการศึกษา 2554
สาขาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการทำงาน

ปี พ.ศ. 2551 ถึง ปัจจุบัน (พ.ศ. 2557) ดำรงตำแหน่งผู้จัดการด้านคุณภาพ
ศูนย์ทดสอบมาตรฐานวัสดุและอุปกรณ์การพิมพ์ และศูนย์การวิจัยพัฒนา
(Thai Print Laboratory) สมาคมการพิมพ์ไทย