

ผลของชนิดเส้นใยต่อสมบัติกระดาษและสภาพพิมพ์ได้

Effect of Fiber Types on Paper Properties and Printability

พิวัศ สุขณีย์สุทธิ¹, สมพร ชัยอารีย์กิจ², และกุนทีนี สุวรรณกิจ³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบสมบัติกระดาษที่ผลิตได้จากเยื่อไม้ยืนและเยื่อไม้ยาว โดยผสมสัดส่วนต่างกัน 4 ระดับที่ 100:0 70:30 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ วิเคราะห์พื้นฐานวิทยาของเส้นใย และศึกษาผลของชนิดเส้นใยต่อสมบัติกระดาษและสภาพพิมพ์ได้ใน 4 ระบบพิมพ์ ได้แก่ ออฟเซต เฟล็กโซกราฟี ระบบพ่นหมึก และอิเล็กทรอนิกส์โฟโตกราฟี ผลการวิจัยพบว่าถึงแม้ว่ากระดาษจะผสมเยื่อในสัดส่วนต่างกันแต่ถ้ารูปแบบการแจกแจงความยาวของเส้นใย และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กใกล้เคียงกัน จะส่งผลให้สมบัติกระดาษบางประการใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะความหนาแน่นปรากฏ ความทึบแสง ความเรียบ และส่งผลให้สภาพพิมพ์ได้ในทั้ง 4 ระบบพิมพ์มีค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ไม่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: เยื่อไม้ยืน เยื่อไม้ยาว พื้นฐานวิทยาของเส้นใย สมบัติกระดาษ สภาพพิมพ์ได้

Abstract

This research compared properties of paper produced from hardwood and softwood pulps which were mixed at 4 different ratios; 100:0, 70:30, 50:50 and 0:100, respectively. Fiber morphology was analyzed, along with the effects of fiber properties on paper properties and printability in 4 printing process; Offset, Flexography, Inkjet and Electrophotography. It was found that eventhough the paper contained different pulp ratios, if it had similar fiber length distribution and fine content, some paper properties would be similar, especially apparent density, opacity and smoothness which led to

¹ หลักสูตรเทคโนโลยีเยื่อกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

^{2,3} ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางถ่ายและเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

similar printability results where solid densities in 4 printing process had no statistically significant level 0.05.

Keywords: Hardwood pulp, Softwood pulp, Fiber morphology, Paper properties, Printability

บทนำ

กระดาษเป็นวัสดุการพิมพ์ชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และสามารถใช้เป็นวัสดุการพิมพ์ได้ในหลายระบบพิมพ์ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นได้ทั้งเส้นใยจากไม้เนื้อแข็ง (เยื่อใยสั้น) หรือเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน (เยื่อใยยาว) รวมถึงเส้นใยจากเยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled fiber) ซึ่งเส้นใยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งในลักษณะรูปร่าง ขนาด โครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมี เมื่อนำเส้นใยต่างชนิดกันไปผลิตกระดาษ ลักษณะเส้นใยที่ต่างกันจะส่งผลให้สมบัติกระดาษที่ผลิตได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเส้นใยกับสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษนั้นเป็นเรื่องสำคัญสำหรับกระดาษพิมพ์เขียนแต่ยังมีผู้ศึกษาน้อยมาก งานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบสมบัติกระดาษที่ผลิตได้จากเส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยจากเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวฟอกขาวที่ใช้ในทางการค้า โดยผสมเส้นใยแต่ละชนิดในสัดส่วนที่ต่างกัน เพื่อพิจารณาสมบัติกระดาษ และสภาพพิมพ์ได้ในระบบพิมพ์ที่ต่างกัน 4 ระบบ ได้แก่ ออฟเซต เฟล็กโซกราฟฟี ระบบพ่นหมึก และอิเล็กทรอนิกส์

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของชนิดเยื่อต่อสมบัติกระดาษและสภาพพิมพ์ได้ในระบบพิมพ์ต่างๆ

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

เส้นใยบริสุทธิ์ที่ใช้ในการผลิตกระดาษนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เส้นใยจากเยื่อใยสั้นที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ซึ่งเป็นไม้ที่ได้จากพืชดอก (Angiosperm) และเยื่อใยยาวได้มาจากไม้ยืนต้นพวกไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ซึ่งเป็นไม้ที่ได้จากพืชจำพวกสน (Coniferous) กระดาษถูกสร้างขึ้นมาจากเส้นใยเซลลูโลสที่เกิดการประสานกันระหว่างเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นสมบัติของเส้นใยจึงส่งผลต่อสมบัติกระดาษที่ผลิตได้และการนำไปใช้งาน (Bernard, 2005) โดยเยื่อใยสั้นมีความยาวของเส้นใยประมาณ 1 มิลลิเมตร ในขณะที่เยื่อใยยาวมีความยาวของเส้นใยประมาณ 3 มิลลิเมตร (Scott et al., 1995) ความแตกต่างนี้ส่งผลให้สมบัติกระดาษที่ผลิตได้ต่างกัน เช่น เยื่อใยสั้นจะให้กระดาษที่เรียกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยยาว แต่

เมื่อเปรียบเทียบในด้านความแข็งแรง โดยเฉพาะความแข็งแรงต่อแรงดึงจะพบว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยยาวนั้นมีสมบัติความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้น เนื่องจากความยาวของเส้นใยมีผลต่อการสร้างเครือข่ายพันธะของเส้นใยภายในเนื้อกระดาษ จึงส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นแต่ความเรียบที่ได้ก็จะลดลง (Bureau, 1983) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ He และคณะ (2004) ซึ่งใช้การถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Confocal microscopy เพื่อพิจารณาภาพตัดขวางของเส้นใยในกระดาษและการสัมผัสกันระหว่างเส้นใยต่อความยาวของเส้นใย พบว่าทั้งรูปร่างเส้นใยในภาคตัดขวางและความยาวของเส้นใยไม่มีผลต่อสมบัติของการสัมผัสกันระหว่างเส้นใย

ในด้านสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษ Tag และคณะ (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระดาษและของเหลวซึ่งใช้เป็นตัวแทนของหมึกพิมพ์และสารเคลือบต่อลักษณะปรากฏแก่สายตาโดยวิเคราะห์โครงสร้างและความหยาบของพื้นผิว โดยใช้เทคนิค Atomic Force Microscopy (AFM) พบว่าความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวและงานพิมพ์เป็นผลมาจากความแตกต่างของชั้นสารเคลือบ ความไม่สม่ำเสมอในการดูดซึมหมึกพิมพ์ สมบัติของหมึกพิมพ์ และสภาพการพิมพ์ โดยพบว่าสัดส่วนวิทยาพื้นผิวของกระดาษเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างยิ่งต่อการเปียกผิว ในขณะที่ Bloch และคณะ (2006) ได้ใช้เทคนิคซินโครตรอนเอ็กซ์เรย์ไมโครโทโมกราฟี (synchrotron source based X-Ray microtomography tools) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างเส้นใยและสัดส่วนวิทยาของเส้นใยระดับจุลภาค (micro-level) ในแบบสามมิติ กับการตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อม (อุณหภูมิและความชื้น) และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสภาพพิมพ์ได้ ซึ่งการวัดลักษณะของโครงสร้างเส้นใยในระดับจุลภาคนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษเพื่ออุตสาหกรรมการพิมพ์

วิธีดำเนินการวิจัย

เตรียมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวที่ใช้ในทางการค้าประเภทเยื่อคราฟต์ฟอกขาว โดยนำมาตีกระจายและบดเยื่อด้วยเครื่องบดเยื่อ (Valley beater) เพื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำในช่วง 330 – 350 มิลลิลิตร โดยบดเยื่อแยกชนิดกัน จากนั้นผสมเยื่อในอัตราส่วนเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาว 4 ระดับ ที่ 100:0 70:30 50:50 และ 0:100 โดยให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 360 กรัม (น้ำหนักเยื่อแห้ง) แล้ววิเคราะห์สัดส่วนวิทยาของเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์สภาพเส้นใย (Fiber Quality Analyzer, FQA) จากนั้นผสมสารเติมแต่ง ได้แก่ สารต้านการซึม (Alkyl Ketene Dimer, AKD) ปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพื่อให้สามารถทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์ฐานน้ำได้

แป้งประจุบวก (Cationic Starch) ปริมาณร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพื่อให้กระดาษมีความแข็งแรงและสามารถนำไปพิมพ์ในระบบการพิมพ์ต่างๆ ได้ และสาร Retention aid ประเภท C-PAM (Cationic Polymers Polyacrylamide) ปริมาณร้อยละ 0.015 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพื่อช่วยกักเก็บเส้นใยขนาดเล็กและคงสารเคมีที่เติมในระบบ ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งจะเติมตามที่คุณผลิตสารแนะนำ ทำการขึ้นแผ่นทดสอบ (Handsheet) ด้วยวิธี Rapid-Köthen ที่น้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร

เมื่อได้แผ่นทดสอบแล้วทดสอบสมบัติกระดาษใน 5 ด้าน คือ (1) สมบัติทางโครงสร้าง ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน (Grammage) ความหนา (Thickness) ความหนาแน่นปรากฏ (Appearance density) และความต้านอากาศ (Air resistance, Gurley method) (2) สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านแรงฉีก (Tear resistance) และความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) (3) สมบัติด้านทัศนศาสตร์ ได้แก่ ความขาว (CIE Whiteness) ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) และความมันวาวที่มุม 75 องศา (Gloss 75°) (4) สมบัติด้านการขวางกั้นและความต้านทาน ได้แก่ การดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที (Cobb 60) (5) สมบัติด้านพื้นผิว ได้แก่ ความเรียบ (Bekk Smoothness) และความแข็งแรงของผิวกระดาษ (Surface strength, IGT W31)

จากนั้นทดสอบสภาพพิมพ์ได้กับหมึกพิมพ์สีด้า 4 ชนิด ได้แก่ (1) หมึกพิมพ์ออฟเซตฐานน้ำมันพืช (Offset Ink) ของ SIEGWERK รุ่น TEMPO NUTRIPACK PROC โดยทดสอบพิมพ์กับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT AIC2-5 ที่การถ่ายโอนหมึกในช่วง 2.0 – 2.9 กรัมต่อตารางเมตร (2) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ (Water-based Flexography Ink) ของ INTER INK รุ่น SF PROCESS ทดสอบกับเครื่องทดสอบสภาพพิมพ์ได้ IGT F1 ที่ขนาดความละเอียดแอนิลอกซ์ 60 เส้นต่อเซนติเมตร (3) หมึกพิมพ์แบบพ่นหมึก (Inkjet Ink) ของเครื่องพิมพ์ Canon iPF6300 ทดสอบพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 (4) หมึกพิมพ์โตนเนอร์สำหรับการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี (Electrophotography) ของเครื่องพิมพ์ FUJI XEROX Document Centre C450 ทดสอบพิมพ์ที่ระดับสีร้อยละ 100 โดยงานพิมพ์ทดสอบที่พิมพ์ทั้งหมดจะเป็นแบบพื้นทึบ (Solid) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์จากค่าความดำพื้นทึบ (Density) ซึ่งเป็นสมบัติสภาพพิมพ์ได้ของหมึกพิมพ์บนแผ่นทดสอบ

ผลการวิจัย

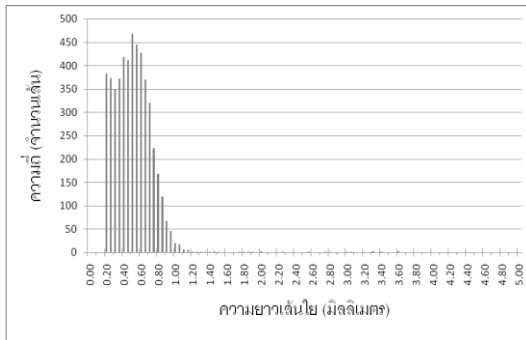
จากการวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาของเส้นใยในเยื่อหลังจากการบดจนได้สภาพการระบายน้ำในช่วงที่กำหนด และนำมาผสมกันในอัตราส่วนต่างกัน 4 ระดับ ที่ 100:0 70:30 50:50 และ 0:100 กำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเยื่อทั้ง 2 ชนิดตามลำดับดังนี้ คือ H10 H7S3 H5S5 และ S10 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พื้นฐานวิทยาของเส้นใยในเยื่อที่ผสมกันในแต่ละตัวอย่าง

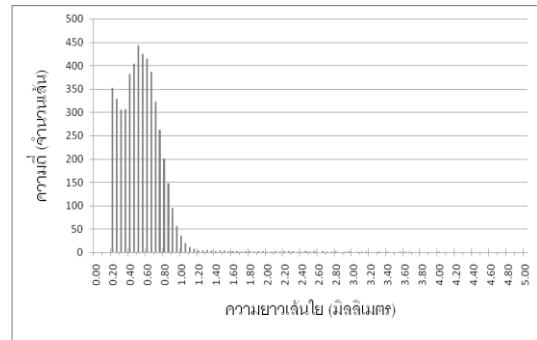
การวิเคราะห์สภาพเส้นใย	H10	H7S3	H5S5	S10
1. ความยาวของเส้นใย (mm)	0.61±0.01	0.79±0.02	1.01±0.03	2.31±0.11
2. ความกว้างของเส้นใย (µm)	15.73±5.13	16.27±5.83	17.03±6.43	25.80±8.30
3. ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (%)	27.24±0.12	26.01±0.50	28.67±0.06	49.28±3.49

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใย (Length weighted length, Lw) ของเยื่อใยสั้นในตัวอย่าง H10 มีขนาดสั้นกว่าเส้นใยจากเยื่อใยยาวในตัวอย่าง S10 เป็นอย่างมาก ซึ่งมีความแตกต่างกันประมาณ 4 เท่า โดยขนาดความยาวของเส้นใยเฉลี่ยจากน้อยไปมากคือ H10 H7S3 H5S5 และ S10 ตามลำดับ ตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าเฉลี่ยความกว้างของเส้นใย (Fiber width) พบว่าตัวอย่าง H10 H7S3 H5S5 และ S10 มีค่าเรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก โดยตัวอย่าง H10 H7S3 และ H5S5 จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่ตัวอย่าง S10 มีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับค่าเฉลี่ยความยาวของเส้นใย ในขณะที่ปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (Fine percent) พบว่าเยื่อใยยาวในตัวอย่าง S10 มีปริมาณเส้นใยขนาดเล็กเกิดขึ้นมากกว่าเยื่อใยสั้นในตัวอย่าง H10 ประมาณ 2 เท่า ในขณะที่ตัวอย่าง H7S3 และ H5S5 ที่มีการผสมกันระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว มีปริมาณของเส้นใยขนาดเล็กค่อนข้างใกล้เคียงกับตัวอย่าง H10 ที่เป็นเยื่อใยสั้นอย่างเดียว ทั้งนี้แนวโน้มของค่าที่วัดได้ในการวิเคราะห์ทั้งความยาวของเส้นใย ความกว้างของเส้นใย และปริมาณเส้นใยขนาดเล็กจะสังเกตเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

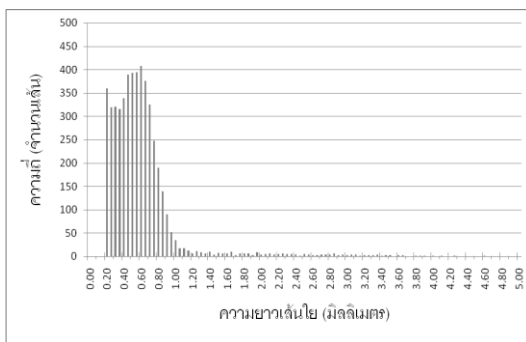
(ก)



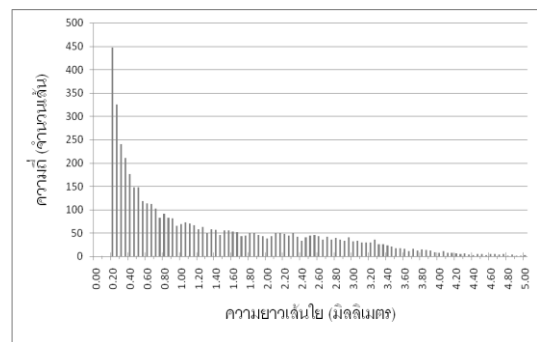
(ข)



(ค)



(ง)



ภาพที่ 1 การแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20 – 5.00 มิลลิเมตรภายใต้การผสมเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวในแต่ละตัวอย่าง (ก) H10 (ข) H7S3 (ค) H5S5 (ง) S10

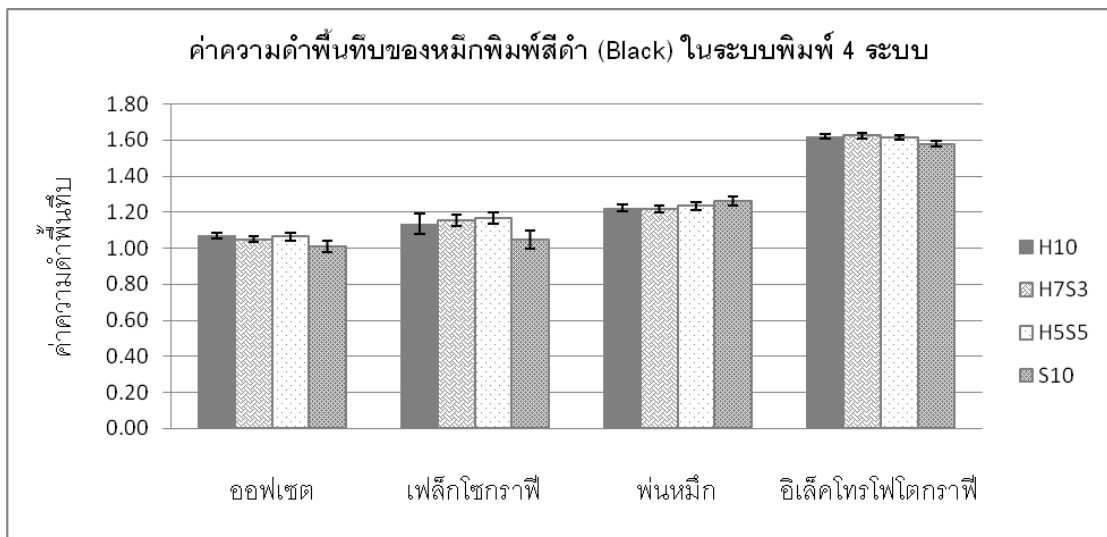
ในส่วนของการแจกแจงความยาวของเส้นใยในช่วง 0.20 – 5.00 มิลลิเมตร ตามภาพที่ 1 (ก) (ข) และ (ค) จะสังเกตเห็นลักษณะการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ภาพที่ 1 (ง) ตัวอย่าง S10 จะมีการแจกแจงความยาวของเส้นใยต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจน โดยมีความถี่จำนวนของเส้นใยในขนาดที่ยาวกว่า และยังพบว่ามีแนวโน้มการลดลงของความถี่จำนวนเส้นใยจากเส้นใยที่มีความยาวสั้นไปจนถึงเส้นใยที่ยาว แสดงว่าในตัวอย่าง S10 มีเส้นใยที่มีความยาวสั้นอยู่ในระบบเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน แต่ก็ยังมีจำนวนน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 2 สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยในแต่ละตัวอย่าง

สมบัติของแผ่นทดสอบ	หน่วย	แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยในแต่ละตัวอย่าง				เมื่อปริมาณเยื่อใยยาว ในส่วนผสมมากขึ้น
		H10	H7S3	H5S5	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	ใกล้เคียงกัน
1.2 ความหนา	µm	124±3	126±2	122±4	113±4	บางลง
1.3 ความหนาแน่น ปรากฏ	kg/m ³	648±11	642±9	661±9	706±25	เพิ่มขึ้น
1.4 ความต้านอากาศ	s	12.13±0.28	15.45±0.22	29.62±2.22	157.52±23.85	เพิ่มขึ้น
2. สมบัติเชิงกล						
2.1 ดัชนีความต้านแรง ฉีก	mN·m ² /g	5.99±0.10	9.24±0.31	10.77±0.64	12.55±0.76	เพิ่มขึ้น
2.2 ดัชนีความแข็งแรง ต่อแรงดึง	Nm/g	42.64±0.75	45.41±0.18	50.89±1.08	69.08±2.14	เพิ่มขึ้น
3. สมบัติด้านทัศนศาสตร์						
3.1 ความขาว	%	61.09±0.67	61.47±0.48	56.24±1.00	53.03±0.61	ลดลง
3.2 ความขาวสว่าง	%	79.93±0.18	80.40±0.23	78.11±0.47	76.67±0.19	ลดลง
3.3 ความทึบแสง	%	90.05±0.06	88.13±0.08	86.56±0.52	77.76±0.44	แสงส่องผ่านได้ดีขึ้น
3.4 ความมันวาว	GU	6.0±0.1	6.5±0.1	6.9±0.2	7.2±0.2	เพิ่มขึ้น
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	ใกล้เคียงกัน
5. สมบัติด้านพื้นผิว						
5.1 ความเรียบ	s	15.0±1.3	14.9±1.3	14.5±0.9	7.1±0.6	ใกล้เคียงกันยกเว้น S10
5.2 ความแข็งแรงของ ผิวหน้า	N/m	42.93±2.81	46.00±1.84	63.11±4.50	77.73±4.62	เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 2 จะสังเกตเห็นได้ว่าสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อสมบัติในต่างๆ ของแผ่นทดสอบโดยมีแนวโน้มที่แตกต่างกันในแต่ละด้าน โดยสมบัติทางโครงสร้างจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นปรากฏของตัวอย่าง S10 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ เป็นอย่างมาก ซึ่งการที่แผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยยาวนั้นมีค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบที่ผลิตจากเยื่อใยสั้นนั้นแตกต่างไปจากทฤษฎีซึ่งกระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้นควรมีความหนาแน่นสูงกว่าเพราะเส้นใยมีขนาดเล็กกว่า จึงเรียงตัวได้ใกล้ชิดกัน และสามารถเข้าไปอุดช่องว่างในโครงสร้างของกระดาษได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามการที่ตัวอย่าง S10 มีความหนาแน่นปรากฏสูงสูดนั้น

อาจเป็นผลจากปริมาณเส้นใยขนาดเล็ก (Fine) ที่มีอยู่ในระบบมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งเกิดมาจากการบดเยื่อให้ได้ค่าสภาพการระบายน้ำที่กำหนด จึงทำให้เกิดปริมาณเส้นใยขนาดเล็กในระบบเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบมีค่าสูง นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความต้านทานอากาศมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด สำหรับสมบัติเชิงกลทั้งดัชนีความต้านแรงฉีกและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แผ่นทดสอบมีสมบัติเชิงกลที่ดีซึ่งสอดคล้องตามทฤษฎี สมบัติด้านทัศนศาสตร์พบว่าค่าความขาวในแต่ละตัวอย่างจะต่างกันเล็กน้อยเนื่องมาจากความขาวแรกเริ่มของเยื่อที่นำมาทดลองต่างกัน แต่ค่าความขาวสว่างจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน สำหรับค่าความทึบแสงพบว่ามียค่าลดลงตามปริมาณเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้นเนื่องจากการที่กระดาษมีความหนาแน่นสูงจะเป็นการลดช่องว่างของอากาศภายในเนื้อกระดาษจึงส่งผลให้การกระเจิงแสงภายในกระดาษลดลง ความทึบแสงจึงลดลง สมบัติด้านการขวางกันและความต้านทานที่ทดสอบการดูดซึมน้ำที่ 60 วินาที จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการใส่สารต้านกันซึมในปริมาณที่เท่ากัน ส่วนสมบัติด้านพื้นผิวพบว่าความเรียบมีค่าลดลงตามสัดส่วนของเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงของผิวหน้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อใยยาวที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องตามตามทฤษฎี



ภาพที่ 2 ค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบที่พิมพ์ด้วยระบบพิมพ์ 4 ระบบ

จากภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์สีดำแต่ละชนิดบนแผ่นทดสอบพบว่าหมึกพิมพ์โทนเนอร์ในระบบพิมพ์อิเล็กโตรโพลีโตกราฟีมีค่าความดำพื้นทึบสูงสุด รองลงมาคือหมึกพิมพ์ฟันหมึก หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี และหมึกพิมพ์ออฟเซต ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างนี้

เกิดจากสมบัติของหมึกพิมพ์แต่ละชนิด โดยหมึกพิมพ์โทนเนอร์จะเกิดการหลอมบนผิวหน้าของกระดาษด้วยความร้อน หมึกจึงสามารถคงอยู่บนผิวหน้าของแผ่นทดสอบได้มาก ในขณะที่หมึกพิมพ์ชนิดอื่นๆ จะมีการซึมผ่านและการแห้งตัวภายในแผ่นทดสอบ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบแต่ละชนิดในแต่ละหมึกพิมพ์ จะพบว่าค่าความดำพื้นที่บนแผ่นข้างใกล้เคียงกัน โดยค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบ S10 จะมีค่าต่ำกว่าแผ่นทดสอบอื่นๆ ในหมึกพิมพ์แต่ละชนิด แต่สำหรับหมึกพิมพ์แบบพ่นหมึกจะมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นทดสอบอื่นๆ ทั้งนี้ในการทดสอบทางสถิติตามการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบอย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบชนิดอื่นที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ระหว่างคู่ของชนิดแผ่นทดสอบด้วยวิธีของตูว์กี (Tukey) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p > 0.05$) ของค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ของหมึกพิมพ์สีดำบนแผ่นทดสอบระหว่าง H10 H7S3 และ H5S5

เมื่อพิจารณาสมบัติกระดาษในแต่ละด้านพบว่า มีสมบัติ 3 ประการที่ปรากฏแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลค่าความดำพื้นที่บนแผ่นทดสอบของหมึกพิมพ์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความทึบแสง และความเรียบ ซึ่งสมบัติทั้ง 3 ประการของแผ่นทดสอบ 3 ชนิด คือ H10 H7S3 และ H5S5 จะให้ผลสภาพพิมพ์ได้คล้ายกัน แต่แผ่นทดสอบ S10 จะให้ผลที่แตกต่างไปจากแผ่นทดสอบ 3 ชนิดนี้ โดยแผ่นทดสอบ S10 มีความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าแผ่นทดสอบ 3 ชนิดแรก และมีสมบัติด้านความทึบแสงและความเรียบต่ำกว่าแผ่นทดสอบ 3 ชนิดแรก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงการแจกแจงความยาวของเส้นใยตามภาพที่ 1 จะสังเกตเห็นได้ว่ามีลักษณะการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่คล้ายกันในตัวอย่าง H10 H7S3 และ H5S5 ในขณะที่ตัวอย่าง S10 จะมีการแจกแจงความยาวของเส้นใยที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

สรุป

การแจกแจงความยาวของเส้นใยและปริมาณเส้นใยขนาดเล็กที่มีอยู่ในระบบจะส่งผลให้สมบัติของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้นั้นมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ถึงแม้ว่าจะมีการผสมเยื่อใยสั้นกับเยื่อใยยาวที่ต่างกันแต่ถ้าการแจกแจงความยาวของเส้นใยและปริมาณเส้นใยขนาดเล็กนั้นใกล้เคียงกัน ก็ส่งผลให้สมบัติของแผ่นทดสอบบางประการที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสภาพพิมพ์ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกันด้วย โดยเฉพาะความหนาแน่นปรากฏ ความทึบแสง และความเรียบ และเมื่อนำไปทดสอบสภาพพิมพ์ได้โดยพิจารณาจากค่าความดำพื้นที่ซึ่งเกี่ยวข้องกับ

ความสามารถในการรับหมึกพิมพ์ทั้ง 4 ชนิด จะพบว่าแผ่นทดสอบที่มีลักษณะดังกล่าวจะให้ค่าเฉลี่ยความดำพื้นที่ที่ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- Bernard, G.D. (2005). *Relationship between Microgloss Nonuniformity and Surface Texture of Paper*. Master of Applied Science Thesis. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry. Ontario: University of Toronto.
- Bureau, H.E. (1983). *What the Printer Should Know about Paper*. Pennsylvania, PA: Graphic Arts Technical Foundation.
- Bloch, J.F., Rolland du Roscoat, S., Mercier, C., Vernhes, P., Pineaux, B., Blayo, A. & Mangin, P. (2006). Influence of Paper Structure on Printability: Characterization Using X-ray Synchrotron Microtomography. *NIP22, International Conference on Digital Printing Technologies*, 449- 453.
- He, J., Batchelor, W.J. & Johnston, R.E. (2004). A Microscopic Study of Fibre-fibre Contacts in Paper. *Appita*, 57(4), 292- 298.
- Scott, W.E., Abbott, J.C. and Trosset, S. (1995). *Properties of Paper: An Introduction* (2nd ed.). Atlanta, GA: TAPPI.
- Tåg, C.-M., Juuti, M., Peiponen & K.-E., Rosenholm, J.B. (2008). Print Mottling: Solid-liquid adhesion related to optical appearance. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 317(1-3), 658-665.