



อิทธิพลของสารเคลือบฐานชีวภาพชนิดคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติของกระดาษ

สุรัชย์ ชันแก้ว¹ ชลลดา แต่งเทศ¹ ชโลทร หุ่นสุวรรณ¹ และ กานต์พิชชา สุวรรณวัฒน์เมธี^{1,2*}

¹ สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ศูนย์นวัตกรรมออกแบบและสื่อคอนเวอร์เจนท์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: kanpicha_s@rmutt.ac.th

วันที่รับบทความ: 5 พฤษภาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 29 กันยายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 17 ตุลาคม 2565

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ: งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบฐานชีวภาพชนิดคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติของกระดาษ ซึ่งในการทดลองจะเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) 3 ระดับ คือ 1, 1.5, 2 % (w/v) และกลีเซอรอล (Glycerol) 3 ระดับ คือ 0.5, 0.75, 1 % (w/v) และทำการเคลือบลงบนกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 150 กรัมต่อตารางเมตร จำนวน 1 ชั้น ด้วยแท่งเคลือบเบอร์ 4 ที่ระดับความหนา 34 ไมครอน จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกล สมบัติทางด้านการพิมพ์ ผลการทดลอง พบว่า กระดาษที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส ส่งผลต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและการยืดตัว ความต้านทานแรงดันทะลุ ความต้านทานการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้กระดาษมีความมันวาวสูงขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาสมบัติทางด้านการพิมพ์ กระดาษที่เคลือบสามารถเก็บรายละเอียดทางด้านตัวอักษรได้ดี และสามารถพิมพ์งานได้ขอบเขตสีที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ: สารเคลือบ; คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส; สมบัติกระดาษ



Influences of Carboxymethyl Cellulose Bio-based Coating on Paper Properties

Surachai Khankaew¹, Chonlada Tangtet¹, Chalothon Hunsuwan¹ and Kanpicha Suwannawanamatee^{1, 2*}

¹ Program of Digital Printing and Packaging Technology, Faculty of Mass Communication Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)

² Innovation Design and Convergence Media Center, Faculty of Mass Communication Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)

* Corresponding author, E-mail: kanpicha_s@rmutt.ac.th

Received: 5 May 2022; Revised: 29 September 2022; Accepted: 17 October 2022

Online Published: 22 December 2022

Abstract: This research aims to study the influence of carboxymethyl cellulose bio-based coatings on the properties of paper. In the experiment, the changes appeared from three levels of carboxymethyl cellulose (CMC) concentrations which were 1, 1.5, 2 % (w/v) and three levels of Glycerol which were 0.5, 0.75, 1 % (w/v). Then, they were coated on paper with a standard weight of 150 g/m², 1 layer with a bar coater no.4 at the thickness of 34 microns. Later, they were tested for mechanical properties and printability properties. The results found that the paper was coated with carboxymethyl cellulose resulting in tensile strength and elongation properties, bursting strength, and increasing water absorption resistance. It also boosted paper gloss. For printability properties, the coated paper held great font details and can print to an increased color gamut as well.

Keywords: coatings; carboxymethyl cellulose; paper properties



1. บทนำ

กระดาษเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้และเกี่ยวข้องกับ การดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์มากที่สุด เนื่องจาก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycled) กระดาษ ยังเป็นที่นิยมและเป็นส่วนประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ และที่สำคัญกระดาษถูก นำมาใช้เป็นสื่อกลางสำหรับการศึกษาและการสื่อสาร การประชาสัมพันธ์ รวมถึงสิ่งพิมพ์ประเภทหนังสือ ตำราเรียน และสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ [1] อย่างไรก็ตาม เนื่องจากองค์ประกอบหลักของกระดาษคือเซลลูโลส ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุนและมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ทำให้เป็นข้อจำกัดสมบัติของกระดาษ ด้านการสกัดกันไอน้ำ ทำให้ความชื้นสามารถซึมผ่าน ได้ และเมื่อกระดาษอยู่ในสภาพที่มีความชื้นสูงจึง สูญเสียความแข็งแรง และเป็นผลให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกระดาษ [2]

การเคลือบผิวกระดาษเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ใน การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติทางแสงและ ความสม่ำเสมอของผิวกระดาษ โดยทั่วไปแล้วกระดาษ จะเคลือบด้วยวัสดุสังเคราะห์ที่ไม่ใช่อินทรีย์ประเภท ต่าง ๆ เช่น ดินขาว (Kaolin) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide) ที่ใช้กับ สารยึดเกาะต่าง ๆ ตลอดจนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีสังเคราะห์หลายชนิด นี้ หากไม่ได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสม อาจนำไปสู่ มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก วัสดุเหล่านี้ไม่ สามารถนำไปรีไซเคิลและไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ อย่างรวดเร็ว และไม่เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเคลือบทั่วไปด้วยวัสดุ ธรรมชาติที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Hamada และคณะ ได้ศึกษาการเคลือบด้วยวัสดุนา โนไฟบริลเซลลูโลส (NFC) และพิมพ์ด้วยระบบการ พิมพ์ที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำ (Water-based Ink) เพื่อ ศึกษาคุณภาพการพิมพ์ โดยเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ ชั้นเคลือบที่แตกต่างกันบนแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ และ วัดผลจากอัตราการดูดซึมหมึกพิมพ์และค่าความต่ำ (Density) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่า หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีจะเคลือบอยู่บนชั้นของ NFC ในส่วนของระบบการพิมพ์พ่นหมึก (Ink Jet) จะ สามารถซึมผ่านชั้นที่เคลือบด้วย NFC ได้ [3] Dussadeeworrarak และคณะ ได้ทดลองการเคลือบ นาโนฟิล์มด้วยโครเมียมออกไซด์ [4] Dimic-Misic และ คณะได้ทำการศึกษาอัตราส่วนสารเคลือบประเภทผงสี (Pigment) ได้แก่ ดินขาว (kaolin) และแคลเซียม คาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ร่วมกับคาร์บอกซิ เมทิลเซลลูโลส (CMC) และนาโนไฟบริลเซลลูโลส (NFC) ผลการทดลองพบว่า การลดปริมาณ CMC และ เพิ่ม NFC ในแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้โครงสร้างของ สารเคลือบมีผิวที่หยาบมีรูพรุนมากในส่วนของดินขาว จะมีโครงสร้างรูพรุนที่ใหญ่กว่าแคลเซียมคาร์บอเนต [5] González และคณะทำการศึกษารเปรียบเทียบสมบัติ ของเยื่อคัลลิปตัสฟอกขาวทั้งก่อนและหลังการใช้ เซลลูโลสนาโนไฟบริล (Cellulose Nanofibrils: CNF) พบว่าการเพิ่ม CNF ลงในเยื่อกระดาษฟอกขาวเหมาะ สำหรับการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน [6]

คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ผลิตขึ้นโดยนำ หมู่มาร์บอกซิลไปเป็นโมเลกุลเซลลูโลสแบบตาข่าย ซึ่ง ได้รับความสนใจอย่างมากในการเคลือบวัสดุประเภท



กระดาษเป็นหลัก สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุอาหารเนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำ พร้อมใช้งาน มีความสะดวกในการผลิตกระดาษอีกทั้งยังสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี [7]

อย่างไรก็ตามจากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีและการพัฒนาวัสดุทางชีวภาพซึ่งมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและเป็นทางเลือกใหม่สำหรับนักวิชาการและอุตสาหกรรม ในการทำงานร่วมกันที่จะพัฒนาเป็นทางเลือกสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน โดยใช้เทคนิคการเคลือบที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การเคลือบหลายชั้น (Multilayer Coating) นาโนคอมโพสิต (Nanocomposites) ที่สามารถปรับปรุงเพิ่มเติมได้ โดยการออกแบบเพื่อให้ได้การสกัดกันได้ดีที่สุดซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการระบุแน่ชัดถึงปริมาณที่เหมาะสมในการเคลือบผิวกระดาษอีกทั้งการใช้ร่วมกับวัสดุอื่น [8] ดังนั้นจึงต้องหาปริมาณการเคลือบที่เหมาะสมกับวัสดุอื่นที่ใช้เคลือบร่วมเพื่อให้การเคลือบกระดาษมีประสิทธิภาพ จึงเป็นวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคลือบชีวภาพชนิดคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติของกระดาษ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมสารเคลือบ

เตรียมสารเคลือบโดยซังคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy Methyl Cellulose: CMC, Sigma-Aldrich, USA) และกลีเซอรอล ความเข้มข้น 99 % (Glycerol, Calbiochem, Germany) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นหรือพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) และน้ำไร้ประจุ (Deionized Water, DI-water) ตามลำดับ ผสมสารทั้งสองให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนระบบแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของปริมาณของสารเคลือบ

สูตร	CMC (% w/v)	Glycerol (% w/v)
CMC1A	1	0.5
CMC1B	1	0.75
CMC1C	1	1.0
CMC1.5A	1.5	0.5
CMC1.5B	1.5	0.75
CMC1.5C	1.5	1.0
CMC2A	2	0.5
CMC2B	2	0.75
CMC2C	2	1.0

(Magnetic Stirrer, Yellow Line) เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นปิดปากภาชนะด้วยฟิล์มพลาสติกและทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) เพื่อให้ฟองอากาศออกให้หมด ในการเตรียมสารเคลือบได้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนสารเคลือบที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 1 และในการทดลองจะทำจำนวน 5 ซ้ำ

2.2 การเคลือบกระดาษ

นำกระดาษอาร์ตการ์ดที่มีน้ำหนัก 150 กรัมต่อตารางเมตร ตัดขนาด 148 x 210 มิลลิเมตร วางบนแท่นรองรับ จากนั้นเทสารเคลือบลงบนกระดาษจากทางขวาไปซ้ายให้ทั่วบริเวณด้านบนกระดาษและทำการปาดสารเคลือบด้วยแท่งเคลือบเบอร์ 4 ที่ระดับความหนา 34 ไมครอน (Bar coater No.4) ปาดด้วยมือให้น้ำหนักในการปาดตั้งแต่ด้านบนถึงด้านล่างกระดาษอย่างสม่ำเสมอ เคลือบบนกระดาษเพียงด้านเดียว จากนั้น นำกระดาษที่ผ่านการเคลือบวางไว้ในอุณหภูมิ



27 องศาเซลเซียส เพื่อให้กระดาษแห้งตัว นำแผ่นกระดาษไปรีดด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็ว 100 รอบ/นาที รีดจำนวน 2 รอบเพื่อให้กระดาษเกิดความเรียบเพิ่มมากขึ้น

2.3 การทดสอบสมบัติของกระดาษ

2.3.1 การวัดความหนากระดาษ (Thickness Measurement)

วัดความหนากระดาษ (Thickness Measurement) วัดโดยใช้เครื่องวัดความหนาแบบดิจิทัล (TECLOCK US-22B Upright Stand) ในการวัดแต่ละตัวอย่างจะวัดจำนวน 5 จุด ทั้งกระดาษเคลือบและไม่เคลือบจำนวน 5 ซ้ำ

2.3.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึงและการยืดตัว (Tensile Strength and Elongation)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงและการยืดตัว (Tensile Strength and Elongation) (มาตรฐาน ASTM D 828) ตัดชิ้นตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้างขนาด 25 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 250 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Testing, Instron, USA) โดยเครื่องจะยึดชิ้นทดสอบด้วยปากจับทั้งสองด้าน โดยมีระยะห่างระหว่างปากจับเป็น 180 มิลลิเมตร และดึงด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของปากจับคงที่ 25.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ดึงจนชิ้นทดสอบขาด ทำซ้ำทั้งหมด 5 ซ้ำ

2.3.3 การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength) (มาตรฐาน ASTM D 774) ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด 80 x 80 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำเข้าเครื่อง

ทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (PAP2056, PAP, PAP-TECH Engineer & Associates, India) ทำซ้ำทั้งหมดจำนวน 5 ซ้ำ

2.3.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Adsorption)

การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Adsorption) (วิธีของ Tappi T441) ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด 125 x 125 มิลลิเมตร นำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปใส่อุปกรณ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ (Cobb Sizing Tester, Gurley, 4180cn, USA) เหน้าในบีกเกอร์ขนาด 100 ml ลงบนกระดาษทดสอบพร้อมจับเวลา 120 วินาที เมื่อเหลือเวลา 15 วินาทีก่อนครบกำหนดให้เทน้ำออกจากกระดาษทดสอบนำไปซับกับกระดาษแล้วกลิ้งด้วยลูกกลิ้ง 2-3 รอบ จึงนำไปชั่งน้ำหนัก และหาค่าการดูดซึมน้ำจากสมการที่ (1)

$$\text{Final Weight (g)} - \text{Conditioned Weight (g)} \times 100 \quad (1)$$

2.3.5 การทดสอบความมันวาว (Gloss)

นำแผ่นตัวอย่างวัดค่าความมันวาว (Gloss, Multi Gloss GM-268 Plus Gloss Meter, Konika Minolta, Germany) โดยการกำหนดองศาที่ใช้วัด 75 องศา ตัวอย่างละ 5 จุด ทำซ้ำทั้งหมดจำนวน 5 ซ้ำ

2.3.6 การหาค่าปริมาณความชื้นของกระดาษ (Moisture Content-Oven-Drying Method)

การหาค่าความชื้นของกระดาษ (Moisture Content-Oven-Drying Method) ตัดตัวอย่างขนาด 100 x 100 มิลลิเมตร นำมาชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบ และทำการอบที่อุณหภูมิ 105 ±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนกระดาษแห้ง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังการอบ และหาค่าผลต่างของน้ำหนักจากสมการ (2)

$$\frac{W1 - W2}{W1} \times 100 \quad (2)$$

โดย W1 = Weight before Baking (g)

W2 = Weight after Baking (g)

2.4 การทดสอบสมบัติด้านการพิมพ์

2.4.1 การวิเคราะห์ค่าสี ความแตกต่างสี ขอบเขตสี และค่าความดำ

นำตัวอย่างทดสอบกระดาษการ์ดที่ผ่านการเคลือบและกระดาษการ์ดที่ไม่เคลือบพิมพ์แบบทดสอบทางการพิมพ์ (Test Form) ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบการพิมพ์พ่นหมึกความละเอียด 1,200 dpi (Ink Jet Canon, G2010- PIXMA G2010) วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ค่าความดำ โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Spectro Densitometer, X-rite, Printed in USA) และคำนวณหาค่าความแตกต่างสี (Delta E, ΔE ,) ได้ดังสมการที่ (3)

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (3)$$

2.4.2 การวิเคราะห์งานพิมพ์บนกระดาษ

การวิเคราะห์งานพิมพ์บนตัวอย่างที่ผ่านการพิมพ์แบบทดสอบทั้งกระดาษที่เคลือบและไม่เคลือบวิเคราะห์โดยใช้สายตาของผู้อ่าน ประกอบด้วย ขนาดตัวอักษร ขนาดเส้น รายละเอียด โดยวางชิ้นงานในตู้เทียบสีงานพิมพ์ภายใต้สภาวะแสง D65 (Pantone Color Viewing, Just-normlicht, Germany) มีระยะการมอง 20 เซนติเมตร

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 สมบัติของกระดาษ

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความหนาของกระดาษที่เคลือบ พบว่า กระดาษที่เคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ร่วมกับกลีเซอรอล

(Glycerol) ส่งผลให้มีความหนาของกระดาษโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบโดยกระดาษที่มีความหนามากที่สุดคือกระดาษที่เคลือบด้วย CMC ความเข้มข้น 2 % (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.75 % (w/v) และกระดาษที่เคลือบด้วย CMC ความเข้มข้น 2 % (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 1 % (w/v) เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของ CMC ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความหนืดของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเมื่อทำการเคลือบลงบนกระดาษทำให้สารเคลือบสามารถซึมลงไปในช่วงว่างระหว่างเส้นใยได้ ซ้ำจึงเกิดเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ บนพื้นผิวของกระดาษ

ความต้านทานแรงดึง ของกระดาษที่เคลือบและกระดาษที่ไม่เคลือบ พบว่า กระดาษที่เคลือบมีความต้านทานแรงดึงโดยเฉลี่ยมากกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยกระดาษที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ กระดาษที่เคลือบด้วย CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 41.40 Mpa ในส่วนของระยะการยืดตัวของกระดาษ พบว่า กระดาษที่เคลือบสามารถมีระยะการยืดตัวได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบ โดยกระดาษที่สามารถยืดตัวได้สูงสุดคือกระดาษที่เคลือบด้วย CMC ความเข้มข้น 1.5 % (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 1 % (w/v) ตามลำดับ

ความต้านทานแรงดันทะลุ พบว่า กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุที่เพิ่มมากขึ้นโดยกระดาษที่เคลือบด้วย CMC ความเข้มข้น 1 % (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวจำเพาะมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนที่สูงหมู่ไฮดรอกซิลบน CMC สามารถ



ตารางที่ 2 สมบัติของกระดาษที่เคลือบและไม่เคลือบ

กระดาษทดสอบ	Thickness (mm)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)	Bursting Strength (kg/km ²)	Water Absorption (g/m ²)	Gloss (GU)	Moisture Content (%)
Control	0.170	33.42 ±1	4.1 ±0.3	4.5 ±0.4	127.0 ± 9	5.7 ±0.2	5.5 ±2
CMC1A	0.178	40.40 ±3	4.5 ±0.5	5.0 ±0.4	81.5 ± 9	7.1 ±0.1	6.7 ±5
CMC1B	0.180	40.28 ±3	4.7 ±0.3	4.6 ±0.2	72.5 ± 9	5.9 ±0.1	3.4 ±3
CMC1C	0.180	41.40 ±2	5.0 ±0.5	4.8 ±0.2	78.0 ± 7	6.3 ±0.2	2.8 ±3
CMC1.5A	0.176	41.28 ±2	4.8 ±0.5	4.7 ±0.2	83.2 ± 8	7.0 ±0.4	4.8 ±5
CMC1.5B	0.176	41.16 ±2	4.3 ±0.2	4.9 ±0.1	81.2 ± 4	6.6 ±0.2	6.1 ±1
CMC1.5C	0.172	37.64 ±2	6.2 ±0.2	4.7 ±0.2	93.7 ± 3	6.8 ±0.3	3.9 ±2
CMC2A	0.178	38.90 ±3	5.0 ±0.4	4.8 ±0.2	95.0 ± 2	7.6 ±0.6	5.3 ±1
CMC2B	0.184	40.64 ±1	4.8 ±0.5	4.9 ±0.1	84.7 ± 4	7.0 ±0.3	8.6 ±3
CMC2C	0.184	39.14 ±1	4.3 ±0.2	4.6 ±0.2	92.7 ± 9	6.4 ±0.1	7.5 ±4

สร้างกลุ่มพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงขึ้นกับกลุ่มไฮดรอกซิลบนเส้นใยส่งผลให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น [8]

การดูดซึมน้ำเป็นการบ่งบอกความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ พบว่า กระดาษที่ไม่เคลือบมีความต้านทานการดูดซึมน้ำน้อยกว่ากระดาษที่เคลือบ เนื่องจากกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบมีโครงสร้างเป็นรูพรุนซึ่งจะแตกต่างจากกระดาษที่เคลือบที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยจะถูกเคลือบด้วย CMC และสามารถแทรกซึมไปอยู่ช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้ปริมาณของช่องว่างระหว่างเส้นใยลดลง [7]

ค่าความมึนขาวเป็นสมบัติด้านทัศนศาสตร์อย่างหนึ่ง กระดาษเคลือบผิวซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะของผิวกระดาษที่สะท้อนแสง ณ มุมที่กำหนด ซึ่งความมึน

ขาวเป็นความพอใจของผู้ใช้งานหากกระดาษมีค่าความมึนขาวดีก็อาจจะส่งผลให้การพิมพ์ภาพหรือลักษณะต่าง ๆ ในงานดีไปด้วย [9] โดยผลการทดลองพบว่า โดยเฉลี่ยกระดาษที่เคลือบมีค่าความมึนขาวเพิ่มขึ้น กระดาษที่เคลือบ CMC ความเข้มข้น 2% (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) มีค่าความมึนขาวสูงสุด

ปริมาณความชื้นของกระดาษถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากที่จะส่งผลต่อสมบัติทางกลของกระดาษที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง กระดาษที่เคลือบมีความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกระดาษที่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดคือ กระดาษที่เคลือบ CMC ความเข้มข้น 2 % (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.75 % (w/v) และกระดาษที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุดคือ กระดาษที่



เคลือบ CMC ความเข้มข้น 1% (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 1% (w/v) ทั้งนี้ค่าปริมาณความชื้นจะมีผลโดยตรงกับแรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดการยึดและหดตัวของกระดาษ โดยกระดาษที่มีปริมาณความชื้นในกระดาษลดลงหรือต่ำจะส่งผลต่อสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงดันทะลุที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันการยึดตัวของกระดาษจะลดลง ในทางกลับกันเมื่อกระดาษมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงดันทะลุจะลดลง แต่การยึดตัวของกระดาษจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามกระดาษที่เคลือบและกระดาษที่ไม่เคลือบมีค่าปริมาณความชื้นของกระดาษทั้งหมดไม่เกินจากค่ามาตรฐานคือ ร้อยละ 10

3.2 สมบัติด้านการพิมพ์

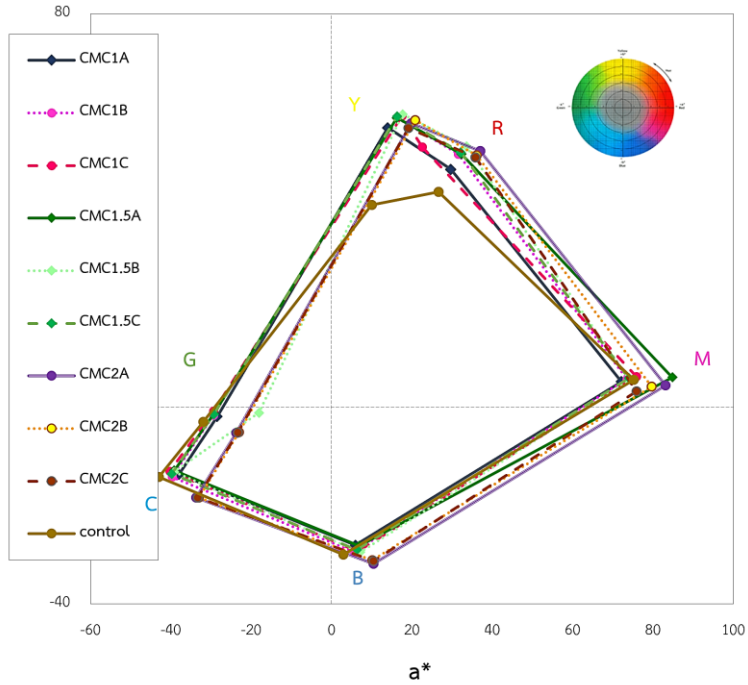
3.2.1 ค่าสี ความแตกต่างสี ขอบเขตสี และค่าความดำ

เมื่อวัดค่าสีของสารเคลือบบนกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบมีค่า L^* เท่ากับ 94.64 a^* เท่ากับ 1.84 และ b^* เท่ากับ -7.53 ซึ่งกระดาษจะมีค่าความสว่างที่ค่อนข้างสูงและกระดาษมีโทนสีออกไปทางสีน้ำเงิน เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างสี (ตารางที่ 3) กับกระดาษที่ผ่านการเคลือบ พบว่ากระดาษมีค่าความแตกต่างสีอยู่ในระดับที่มองไม่เห็นความแตกต่าง และเมื่อพิจารณาขอบเขตสีงานพิมพ์ที่พิมพ์ลงบนกระดาษที่เคลือบ จะมีขอบเขตสี สีเหลือง (Yellow, Y) สีแดง (Red, R) มากที่สุดตามลำดับ แต่มีขอบเขตสีน้ำเงิน (Blue, B) สีเขียว (Green, G)

ที่น้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบจะให้ขอบเขตสีน้ำเงินมากที่สุด และมีขอบเขตสี ของสีเหลือง (Y) สีแดง (R) น้อยที่สุด เนื่องจากกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบมีสารฟอกที่มีสีน้ำเงินทำให้ดูดกลืนสีเหลือง (Y) สีแดง (R) และสะท้อนสีน้ำเงิน (B) ออกมาและเมื่อเปรียบเทียบงานพิมพ์ทั้งหมด พบว่า กระดาษที่เคลือบ CMC ความเข้มข้น 2% (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) มีขอบเขตสีกว้างที่สุด อาจเกิดจากปริมาณสารที่เข้มข้นเมื่อปาดลงบนกระดาษ นำไปทำแห้งและผ่านกระบวนการรีด ทำให้กระดาษมีสีเหลือง (Y) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเมื่อนำไปพิมพ์ จึงให้ขอบเขตสีเหลือง (Y) สีแดง (R) มากที่สุด ดังรูปที่ 1

ค่าความดำ เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า กระดาษที่ผ่านการเคลือบจะให้ค่าความดำของงานพิมพ์ที่เพิ่มขึ้นในสีม่วงแดง (Magenta, M) สีเหลือง (Yellow, Y) และสีดำ (Black, K) ในส่วนของสีน้ำเงินเขียว (Cyan, C) จะมีค่าความดำน้อยกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบจะมีสีไปในโทนสีน้ำเงินที่อาจจะเป็นผลมาจากกระดาษมีการเติมสารฟอกขาว (Optical Brightening Agents, OBA) ลงไปในเนื้อกระดาษที่ทำให้กระดาษดูขาวสว่างมากยิ่งขึ้นจึงแสดงสีในโทนสีน้ำเงินเขียว (C) ได้ดี [10]

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของกระดาษที่เคลือบและไม่เคลือบ ลักษณะของพื้นผิวมีความแตกต่างกันโดยกระดาษที่เคลือบจะเงาและเรียบ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ขอบเขตสีงานพิมพ์บนกระดาษ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพ (ก) กระดาษไม่เคลือบ (ข) กระดาษที่เคลือบ



ตารางที่ 3 ค่าสี ค่าความดำและค่าความแตกต่างสี

กระดาษทดสอบ	C	M	Y	K	L*	a*	b*	Delta E
Control	1.01	1.01	1.11	1.14	94.64	1.84	-7.53	0.00
CMC1A	0.81	1.01	1.17	1.40	94.14	2.05	-8.31	0.95
CMC1B	0.80	1.07	1.01	1.41	94.19	1.98	-8.24	0.85
CMC1C	0.88	1.06	1.03	1.40	94.38	1.93	-8.29	0.81
CMC1.5A	0.90	1.06	1.03	1.40	94.42	2.02	-8.32	0.84
CMC1.5B	0.84	1.06	1.02	1.39	94.23	2.11	-8.50	1.08
CMC1.5C	0.79	1.06	1.20	1.39	94.24	2.11	-8.91	1.46
CMC2A	0.68	1.07	1.06	1.37	93.92	2.02	-8.14	0.96
CMC2B	0.88	1.08	1.04	1.37	94.61	1.99	-8.17	0.66
CMC2C	0.87	1.04	0.97	1.39	94.08	2.08	-8.38	1.05

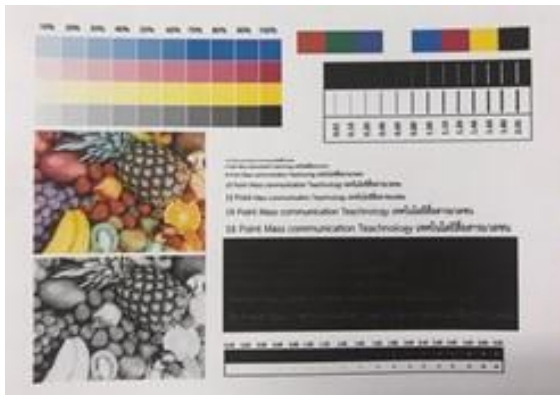
3.2.2 รายละเอียดงานพิมพ์บนกระดาษ

การเก็บรายละเอียดของแบบทดสอบงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์พ่นหมึก (Inkjet Printing) ที่ประกอบไปด้วย ตัวอักษร (Text size) จุด (Dot) เส้น (Line) ทั้งแบบ โพสิทีฟ (Positive) และเนกาทีฟ (Negative) พบว่า กระดาษที่ไม่เคลือบสามารถเก็บรายละเอียดของขนาดตัวอักษรที่เล็กที่สุดแบบโพสิทีฟ ได้ตั้งแต่ขนาด 12 พ้อยท์ และตัวอักษรแบบเนกาทีฟ ได้ตั้งแต่ขนาด 16 พ้อยท์ รายละเอียดของจุดที่เล็กที่สุดแบบโพสิทีฟ ได้ตั้งแต่ 1.10 พ้อยท์ และแบบเนกาทีฟ ได้ตั้งแต่ 1.60 พ้อยท์ และรายละเอียดขนาดของเส้นที่เล็กที่สุดแบบโพสิทีฟ ได้ตั้งแต่ 0.40 พ้อยท์ และแบบเนกาทีฟ ได้ตั้งแต่ 0.80 พ้อยท์

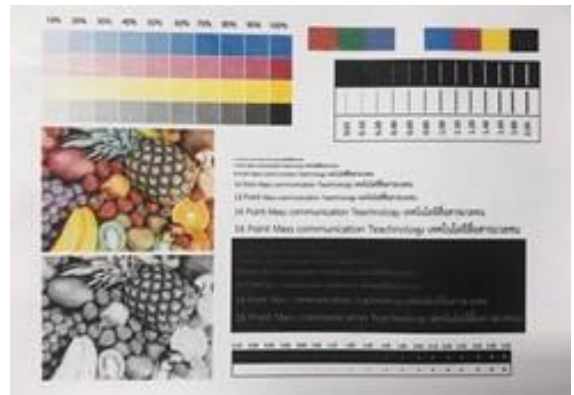
เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระดาษที่เคลือบพบว่า กระดาษที่เคลือบสามารถเก็บรายละเอียดของ ตัวอักษร จุด และเส้น ทั้งแบบโพสิทีฟ และแบบเนกาทีฟ ได้ดีกว่า โดยกระดาษที่เคลือบ CMC ความเข้มข้น 1% (w/v) กลีเซอรอล ความเข้มข้น 0.5 % (w/v) เป็นสูตรที่สามารถเก็บรายละเอียดได้ดีที่สุด ดังตารางที่ 4 และเมื่อพิจารณารูปภาพที่เป็นภาพสีและภาพขาวดำ พบว่า กระดาษที่เคลือบนั้นให้ความคมชัดของภาพและสีที่ สบายกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ ดังรูปที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจาก กระดาษที่ถูกเคลือบนั้นจะเกิดเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ที่ผิวของกระดาษเมื่อได้รับหมึกพิมพ์ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์เหลว ไม่สามารถแทรกซึมลงไปเนื้อกระดาษได้เมื่อเกิดการแห้งตัวจึงยึดติดอยู่บนผิวของกระดาษจึงสามารถแสดงสีที่ได้อย่างสวยงาม

ตารางที่ 4 การเก็บรายละเอียดของงานพิมพ์

กระดาษ	Text size (Point)		Dot size (Point)		Line size (Point)	
	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative
Control	12.00	16.00	1.10	1.60	0.40	0.80
CMC1A	10.00	14.00	1.00	1.20	0.20	0.40
CMC1B	10.00	14.00	1.00	1.20	0.20	0.60
CMC1C	12.00	14.00	1.00	1.20	0.20	0.80
CMC1.5A	12.00	14.00	0.80	1.10	0.20	0.60
CMC1.5B	12.00	14.00	1.00	1.20	0.20	0.60
CMC1.5C	12.00	14.00	1.00	1.20	0.20	0.80
CMC2A	10.00	14.00	1.00	1.20	0.40	0.80
CMC2B	12.00	14.00	0.80	1.20	0.40	0.80
CMC2C	12.00	14.00	0.80	1.10	0.40	0.80



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 งานพิมพ์แบบทดสอบ (ก) กระดาษไม่เคลือบ (ข) กระดาษที่เคลือบ



3.3 แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งาน

จากผลการวิจัยจะพบว่า การเคลือบกระดาษด้วย CMC และ กลีเซอรอล จะส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น อาทิเช่น สมบัติทางด้าน การพิมพ์ สมบัติเชิงกล และ สมบัติทางด้าน การสกัดกั้น การซึมผ่าน ทั้งนี้ กระดาษที่ผ่านการเคลือบสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ งานประเภทบรรจุภัณฑ์กระดาษห่อ กระดาษสำหรับ ตำนทานการดูดซึม น้ำ และวัสดุที่ใช้เคลือบเป็นการใช้ วัสดุทางชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทั้งนี้ กระดาษเคลือบยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อ ปรับปรุงประสิทธิภาพทางด้าน การใช้งานที่มีความ เหมาะสมกับการนำไปใช้งานประเภทต่าง ๆ

4. บทสรุป

ในการศึกษานี้ได้ทดลองการเคลือบกระดาษอาร์ต การ์ดที่น้ำหนักกระดาษ 150 กรัมต่อตารางเมตรด้วย คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร่วมกับกลีเซอรอลโดยเปลี่ยน ความเข้มข้นของตัวแปรละ 3 ระดับ จากนั้นเคลือบลง บนกระดาษด้วยบาร์โค้ดเตอร์เบอร์ 4 ทดสอบสมบัติ ของกระดาษ และสมบัติทางด้าน การพิมพ์ จากผลการ ทดลองสารเคลือบชนิดคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ใช้ เป็นสารเติมแต่งในการเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับ กระดาษซึ่งเป็นกลุ่มไฮดรอกซิลโดยธรรมชาติทำให้ สามารถผสมผสานเชื่อมระหว่างเส้นใยได้ดี สามารถ ช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดัน ทะลุ และการดูดซึม น้ำของกระดาษ รวมทั้งเมื่อนำไป ทดลองพิมพ์ยังส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การพัฒนางานสารเคลือบทางชีวภาพ ยังคงต้องมีการปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิต และฟังก์ชันพิเศษรวมทั้งฐานข้อมูลที่สำคัญเพื่อพัฒนา นวัตกรรมและผลิตภัณฑ์กระดาษต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ หลักสูตรเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชภัฏนครราชสีมา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] https://xn--12cf0dj0aaufr9l0ai2m6ab4p.blogspot.com/2011/04/blog-post_3.html. (Accessed on 15 March 2022)
- [2] <http://otop.dss.go.th/index.php/home/26-interesting-articles/143-2017-07-31-03-26-10> (Accessed on 15 March 2022)
- [3] H. Hamada, and D.W. Bousfield, Nano fibrillated cellulose as a coating agent to improve print quality of synthetic fiber sheets, Tappi Journal, 2010, 9(11), 25-29.
- [4] N. Dussadeeworarak, P. Silakoo, A. Kaewilai, and T. Thaweechai, Coating of nano-film Cr₂O₃ on welded 304L stainless steel and its surface resistance properties, The Journal of Industrial Technology, 2021, 17(3), 113-123.
- [5] K. Dimic-Misic, C. Ridgway, T. Maloney, J. Paltakari, and P.Gane, Influence on porestructure of micro/nanofibrillar cellulose in pigmented coating formulations, Transport in Porous Media, 2014, 103(2), 155-179.



- [6] I. González, S Boufi, M.A. Pèlach, M. Alcalà, F. Vilaseca, and P. Mutjéa, Nanofibrillated cellulose as paper additive in Eucalyptus pulps, *BioResources*, 2012, 7(4), 5167–5180.
- [7] Y. He, H. Li, X. Fei and L. Peng, Carboxymethyl cellulose/cellulose nanocrystals immobilized silver nanoparticles as an effective coating to improve barrier and antibacterial properties of paper for food packaging applications, *Carbohydrate Polymers*, 2021, 252, 117156.
- [8] A. li, D. xu, L. Luo, Y. Zhou, W. Yan, X. Leng, D. Dai, Y. Zhou, H. Ahmad, J. Rao, and M. Fan, Overview of nanocellulose as additives in paper processing and paper products, *Nanotechnology Review*, 2021, 10(1), 264–281.
- [9] R. Wattanawong, *Printing materials*, 1st Ed, Sukhothai Thammathirat Open University Press, Nonthaburi, Thailand, 2011.
- [10] C. Yu, *The Effect of Optical Brightening Agent (OBA) in Paper and Illumination Intensity on Perceptibility of Printed Colors*, Thesis, Rochester Institute of Technology, USA, 2014.