



การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษจากเยื่อกล้วยด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

The improvement of Paper Properties from Banana Pulp with Carboxymethyl Cellulose

อัครเดช ทองสว่าง และ กานต์พิชชา สุวรรณวัฒน์เมธี*

Akaradet Tongswang and Kanpicha Suwannawatanamatee*

สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Department of Digital Printing & Packaging Technology, Faculty of Mass Communication Technology,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

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

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: August 11, 2021

Revised: December 17, 2021

Accepted: March 8, 2022

Available online: May 9, 2022

DOI: 10.14456/jarst.2022.2

Keywords: handicraf paper,
paper properties,
carboxymethyl cellulose

This research aims to study the properties of paper which was made of banana pulp coated with carboxy methyl cellulose. The 12 percent concentration of sodium hydroxide (NaOH) per dried banana weight and 4 percent concentration of sodium sulfate (Na_2SO_4) per dried banana weight were used in the experiment. Then, it was boiled to break down the lignin for 90 minutes at the 100 degree Celsius temperature, formed paper sheets weighed 80 g/m^2 , and coated of carboxymethyl cellulose of 34 microns thick with bar coater. Three levels of concentration were 1, 2 and 3% (w/v) coated of one and two layers. After that, it was left for 24 hours at 25 degree Celsius temperature and 50 percent of humidity. This could test the mechanical properties of the paper water absorption properties, and printability properties. The research results showed that the coated paper of carboxymethyl cellulose had mechanical properties of increasing paper thickness resulted in the properties of bursting strength, tensile strength, and gloss increases. It affected the printability properties, an increasing density of paper to print and also

it can keep details of thin lines and small text size. The value of water absorption of paper properties was reduced. From the research result, the paper coated of carboxymethyl cellulose could be developed to other packaging and basic data of paper development for farmer or community organizations in the future.

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติกระดาษจากเยื่อกล้วยที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส การทดลองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12% ต่อน้ำหนักกากกล้วยแห้ง และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ความเข้มข้น 4% ต่อน้ำหนักกากกล้วยแห้ง ต้มเพื่อสลายลิกนินเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปแผ่นกระดาษน้ำหนัก 80 กรัม/ตารางเมตร และเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสด้วยบาร์โค้ดเตอร์ (Bar coater) ความหนา 34 ไมครอน เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3% (w/v) โดยทำการเคลือบหนึ่งชั้นและสองชั้นหลังจากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษ การดูดซึมน้ำ และสมบัติทางด้านการพิมพ์ ผลการวิจัยพบว่า กระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสมีสมบัติเชิงกลเรื่องความหนาของกระดาษเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงดันทะลุ ความต้านทานแรงดึง ความมันเงาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งยังส่งผลต่อสมบัติทางด้านการพิมพ์มีค่าความดำของงานพิมพ์บนกระดาษเพิ่มขึ้นและสามารถเก็บรายละเอียดของเส้นและตัวอักษรที่มีขนาดเล็กได้ ในส่วนของการดูดซึมน้ำของกระดาษมีค่าลดลง ซึ่งจากผลการวิจัยบ่งบอกถึงกระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสามารถนำไปต่อยอดในการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับหีบห่อ และเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้ในการพัฒนากระดาษให้กับองค์กร เกษตรกร หรือชุมชนในลำดับถัดไป

คำสำคัญ: กระดาษเชิงหัตถกรรม สมบัติกระดาษ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

บทนำ

กระดาษมีแนวโน้มการใช้มากยิ่งขึ้นเนื่องจากการเติบโตของการส่งสินค้าออนไลน์อันเป็นผลมาจากการเกิดโรคระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 มีการใช้ชีวิตแบบ New Normal จึงส่งผลให้เกิดการใช้กระดาษที่ใช้ในการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มีจำนวนมากตามไปด้วย โดยผลิตภัณฑ์กระดาษ ไตรมาส 1 ปี 2564 มีมูลค่าการส่งออก 538.71 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.71 โดยประเทศที่เป็นคู่ค้าหลักได้แก่ประเทศจีน คิดเป็นร้อยละกว่า 80 [1] และการรณรงค์ในเรื่องของสิ่งแวดล้อมรวมทั้งกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เพราะกระดาษเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทเดียว ที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้จากการปลูกป่าทดแทน สามารถพิมพ์ตกแต่งได้ง่ายและสวยงาม ทั้งสามารถเคลือบหรือประกบติดกับวัสดุชนิดอื่นได้ดี [2] อีกทั้งยังสามารถออกแบบหรือพิมพ์กราฟิกใส่ลงไปได้ง่าย นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการขนส่งจากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้เนื่องจากพับได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง กระดาษจึงนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

การผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากวัตถุดิบในท้องถิ่นกำลังได้รับความสนใจจากชุมชนต่าง ๆ เนื่องจากการเป็นกรนำวัตถุดิบที่หาง่ายในท้องถิ่นมาเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ เช่น เปลือกปอสา ใบสับปะรด ชานอ้อย ผักตบชวา ฟางข้าว ต้นกล้วย เป็นต้น โดยใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพ ไม่ซับซ้อน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เพื่อสร้างงานสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน สำหรับกระดาษเชิงหัตถกรรมที่รู้จักกันดีและซื้อขายกันที่แพร่หลายอยู่ในประเทศไทยก็คือกระดาษที่ทำมาจากเปลือกปอสา ซึ่งเป็นภูมิปัญญาที่เกิดจากภาคเหนือ ในยุคสมัยก่อนนิยมนำกระดาษสามาใช้ทำร่มกระดาษ และกระดาษว่า ต่อมาเมื่อได้รับความนิยมจึงได้พัฒนาคุณภาพให้ดียิ่งขึ้น เพื่อผลิตเป็นงานกระดาษทำมือ (Handmade) ซึ่งมีเสน่ห์และมีความเป็นเอกลักษณ์ในชิ้นงานจึงเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ส่วนในภาคกลางของประเทศไทยมีการปลูกกล้วยอยู่เป็นจำนวนมากมีต้นกล้วยที่เหลือทิ้งจากการเก็บผลผลิต

การผลิตกระดาษจากต้นกล้วยมีกระบวนการผลิตที่มีความเหมือนกับกระบวนการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมโดยทั่วไป ด้วยการใช้วิธีการต้มละลายลิกนินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และก็ยังมียุทธศาสตร์ย่อยสลายเยื่อด้วยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งกระดาษจากต้นกล้วยที่ได้จากการผลิตดังกล่าวยังไม่มีหลากหลายและประสิทธิภาพมากพอจำเป็นจะต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเติมสารเติมแต่งหรือปรับปรุงคุณภาพในด้านอื่น ๆ นักวิจัยได้พยายามใช้สารเติมแต่งประเภทนาโนเซลลูโลส (Nanocellulose) ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแทนการใช้สารเติมแต่งประเภทน้ำมันปิโตรเลียม [3] หนึ่งในสารเคลือบที่นำมาใช้ในการเคลือบผิวกระดาษได้แก่คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส เป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีความสำคัญและใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยา เครื่องสำอาง และสารทำความสะอาด เนื่องจากคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสช่วยเพิ่มความเหนียวไม่มีพิษ ไม่ก่อให้เกิดการแพ้ สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่าย และทางด้านอุตสาหกรรมกระดาษ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสยังเป็นสารเติมแต่งที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถใช้สำหรับเคลือบกระดาษ ช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างเส้นใย

ในการวิจัยจึงจะทำการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษจากเยื่อกล้วย โดยการนำคาร์บอกซิเมทิล

เซลลูโลส เป็นสารเคลือบเพื่อให้กระดาษมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น และพัฒนาเป็นแนวทางในการผลิตกระดาษจากเยื่อกล้วยให้มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประยุกต์ใช้กระดาษดังกล่าวในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งเป็นบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ใช้กระดาษเป็นหลัก รวมทั้งยังสามารถเป็นอาชีพทางเลือกให้กับบุคคลที่มีความสนใจ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุการทำวิจัย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) (Ajax Sigma – Aldrich, USA) ใช้เป็นสารต้มเพื่อละลายลิกนินในเยื่อกระดาษ, โซเดียมซัลไฟต์ (Na₂SO₃) (Sigma – Aldrich, USA) ใช้เป็นสารต้มเพื่อละลายลิกนินในเยื่อกระดาษ กาบนอกกล้วยแห้งที่มีขนาด 4-5 เซนติเมตร คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) (Carboxymethyl cellulose, Sigma – Aldrich, USA)

2. การเตรียมเยื่อกล้วยและสารเคลือบ

2.1 การเตรียมเยื่อกล้วย นำกาบนอกกล้วยน้ำว่าสดตัดให้มีขนาด 4-5 เซนติเมตร ปริมาณ 5 กิโลกรัม ตากให้แห้งด้วยแสงแดดกลางแจ้งหรืออบให้แห้งด้วยเครื่องอบ จนเหลือความชื้น 15-20% และต้มเพื่อละลายลิกนินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 12% (w/v) และโซเดียมซัลไฟต์ (Na₂SO₃) ความเข้มข้น 4% (w/v) เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นล้างทำความสะอาดเยื่อและปั่นด้วยเครื่องปั่นแบบใบพัดสี่แฉก (4-bladed stainless steel propeller homogenizer, Yellow line OST 20 digital, Germany) ความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที เพื่อตัดให้เยื่อมีขนาดที่สั้นลง และทำการตีเยื่อด้วยเครื่องตีเยื่อแบบปั่นกระจายใช้อัตราส่วนของเยื่อต่อน้ำคือ 1 ต่อ 10 ส่วนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้เยื่อปริมาณ 2 กิโลกรัม คำนวณร้อยละของความเข้มข้นเยื่อ (%Pulp Consistency) ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Total cons. (\%)} = \left(\frac{\text{dry weight of sample}}{\text{total weight of sample}} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดยเยื่อกล้วยที่ได้มีความเข้มข้นเยื่อ (%Pulp Consistency) ร้อยละ 44.75 โดยน้ำหนัก

2.2 การเตรียมสารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส โดยผสมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1, 2 และ 3% (w/v) [3] กับน้ำเปล่านำไปคนให้เข้ากัน ด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer IKA Yellow line MSH Basic, Germany) ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นวางทิ้งไว้ในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. การขึ้นแผ่นกระดาษตัวอย่าง

ขึ้นแผ่นกระดาษตัวอย่างน้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร โดยนำเยื่อกล้วยปริมาณ 25 กรัมลงในบีกเกอร์เติมน้ำเปล่าปริมาณ 500 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่องปั่นแบบใบพัดสี่แฉก (4-bladed stainless steel propeller homogenizer, Yellow line OST 20 digital, Germany) ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เทเยื่อลงในเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษที่มีขนาดตะแกรงกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ขนาดของรูตะแกรง 80 mesh ขนาดลวดตะแกรงเบอร์ 40 เปิดลมเป่าเพื่อไม่ให้เยื่อจับกลุ่มเป็นก้อนและกระจายได้ทั่วบริเวณ เป็นเวลา 5 นาที และทำการปล่อยน้ำออกจากเครื่องทันที จากนั้นนำไปตากแดดกลางแจ้งโดยวางตะแกรงทำมุม 15 องศา กับพื้นราบประมาณ 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นลอกแผ่นกระดาษออกจากตะแกรงโดยการแกะบริเวณขอบกระดาษให้ครบทั้ง 4 ด้านและค่อย ๆ ดึงแผ่นกระดาษจากตะแกรงอย่างช้า ๆ นำแผ่นกระดาษที่ได้ทำการรีดด้วยความร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็ว 10 เมตรต่อนาที

4. การเคลือบผิวแผ่นกระดาษตัวอย่าง

นำแผ่นกระดาษตัวอย่างวางลงบนแท่นรองรับ จากนั้นตักสารเคลือบวางลงบนแผ่นกระดาษและทำการ

เคลือบด้วยบาร์โค้ดเตอร์ (Bar coater) เบอร์ 4 ความหนา 34 ไมครอน ปาดด้วยมือให้มีน้ำหนักการกดและความเร็วคงที่ ในกระบวนการเคลือบจะเคลือบกระดาษแค่ด้านเดียว โดยทำการเคลือบหนึ่งชั้นและสองชั้นทั้งความเข้มข้น 3 ระดับ (1, 2 และ 3% w/v) ในการเคลือบชั้นที่สองจะเคลือบหลังจากที่สารเคลือบชั้นแรกแห้งแล้ว และวางกระดาษตัวอย่างในห้องอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวางแผ่นเหล็กทับแผ่นกระดาษเพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษเกิดการโค้งงอเมื่อกระดาษแห้งสนิท

5. การทดสอบสมบัติกระดาษ

5.1 น้ำหนักสารเคลือบบนแผ่นกระดาษ โดยการชั่งแผ่นกระดาษก่อนการเคลือบผิวและหลังการเคลือบผิวแล้วนำมาหาผลต่างของน้ำหนักได้จากสมการต่อไปนี้

$$(\text{Weight before test} - \text{Weight after test}) \quad (2)$$

5.2 ความหนาของแผ่นกระดาษ (มาตรฐาน Din 863-1 (1999)) ตัดตัวอย่างกระดาษอย่างละ 5 ชิ้น วัดความหนาของกระดาษแผ่นละ 5 ตำแหน่ง ด้วยเครื่องมือไมโครมิเตอร์ (Digital Outside Micrometer, Insize, Germany) หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.3 ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength) (มาตรฐาน ASTM D 774) เตรียมกระดาษทดสอบโดยตัดให้มีขนาด 80 x 80 มิลลิเมตร นำกระดาษเข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (PAP2056, PAP, PAP-TECH Engineer & associates, India) ปรับแรงดันบนขึ้นทดสอบที่ ถูกยึดแน่นโดยใช้แรงยึดที่เหมาะสม เพิ่มแรงดันที่เกิดจากระบบไฮดรอลิกผ่านแผ่นยางลงบนขึ้นทดสอบด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งขึ้นทดสอบขาด หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

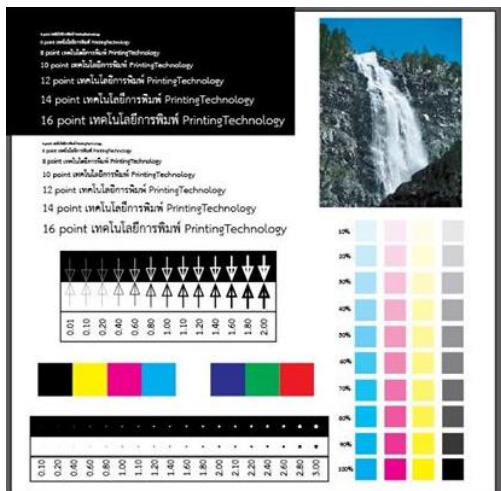
5.4 ความต้านทานแรงดึง (มาตรฐาน ASTM D 828) ตัดขึ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 25.5 มิลลิเมตร ยาว 254 มิลลิเมตร ยึดขึ้นทดสอบกับ

เครื่องทดสอบ (Tensile Testing, 3343U2900, Instron, USA) ด้วยปากจับทั้งสองด้าน โดยมีระยะห่างระหว่างปากจับของ 180 มิลลิเมตร ดึงด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของปากจับคงที่ 25.4 มิลลิเมตรต่อนาที จนขึ้นทดสอบขาด จำนวน 5 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.5 การดูดซึมน้ำ (Cobb Test) (มาตรฐาน Tappi T441) ตัดชิ้นทดสอบที่ไม่มีการพิมพ์ขนาด 140 x 140 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักกระดาษก่อนทดสอบ แล้วนำไปประกอบกับ Cobb Sizing Tester (Gurley, 4180cn, USA) เหน้ 100 cm³ พร้อมจับเวลา 2 นาที เมื่อเหลือเวลา 15 วินาที ก่อนครบกำหนดให้เทน้ำออกพร้อมซับน้ำออกด้วยกระดาษซับ จำนวน 5 ซ้ำ และจึงชั่งน้ำหนักหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้ว

$(\text{Weight before test} - \text{Weight after test}) \times 100$ (3)

5.6 ความมันเงา (Gloss) นำแผ่นกระดาษตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวทั้งแบบชั้นเดียวและสองชั้น วัดค่าความมันเงา (Gloss, Multi Gloss MG-268A Gloss Meter, Konika Minolta, Japan) กำหนดองศาในการวัดที่ 75 องศา (มาตรฐาน Tappi T480 om-15 จำนวน 5 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 1 แบบทดสอบงานพิมพ์ (Test form)

5.7 ค่าความดำของงานพิมพ์บนกระดาษ (มาตรฐาน ISO 12647-1) นำแผ่นกระดาษตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวทั้งแบบชั้นเดียวและสองชั้นพิมพ์แบบทดสอบงานพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบพ่นหมึก ความละเอียด 1,200 dpi หัวพิมพ์ (Print head) จำนวน 4 หัว (CMYK) (Inkjet Printer, Deskjet ink Advance 220hc, HP, Germany) และวัดค่าความดำของงานพิมพ์บนกระดาษในแต่ละสี ๆ ละ 5 ซ้ำ นำมาหาค่าเฉลี่ย โดยกำหนดโหมดในการวัดตาม ISO5-4:2009(E) (Gas filled tungsten (Illuminant A) และสภาวะการวัดตาม ISO 13655:2009 (M0, Unpolarized, no filter, UV include) และรองหลังด้วยกระดาษสีดำ (Black backing) (Spectrodensitometer, Exact Avance, Xrite, USA)

5.8 การทดสอบวัดคุณภาพงานพิมพ์ ประกอบด้วยรายละเอียดขนาดของเส้น รายละเอียดขนาดตัวอักษร โดยใช้ตาคนในการอ่าน โดยวางชิ้นงานในตู้เทียบสีงานพิมพ์ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต D65 (Pantone Color Viewing, Just-normlicht, Germany) กำหนดเพศชายจำนวน 5 คน และเพศหญิงจำนวน 5 คน อายุเฉลี่ย 22 ปี กำหนดระยะห่างในการอ่าน 300 มิลลิเมตร กำหนดเวลาในการดู 1 วินาที ประเมินโดยการอ่านตัวหนังสือ

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. น้ำหนักสารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสบนแผ่นกระดาษ

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักสารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่เคลือบลงบนกระดาษ แผ่นกระดาษตัวอย่างที่วัดได้หลังจากเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหนึ่งชั้นและสองชั้นที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน น้ำหนักสารเคลือบจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 ความเข้มข้นรวมทั้งเมื่อมีการเคลือบเป็นสองชั้นน้ำหนักของสาร

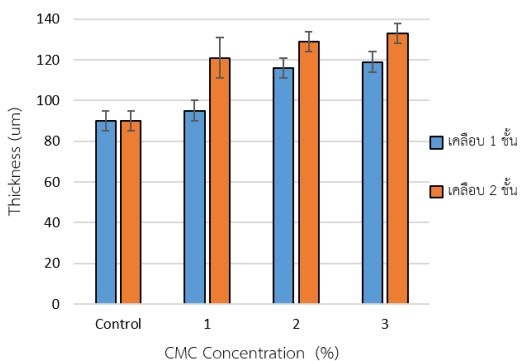
เคลือบยังเพิ่มขึ้นอีกด้วย น้ำหนักสารเคลือบที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณวัสดุเคลือบที่เคลือบอยู่บนผิวของกระดาษอันเนื่องมาจากสารเคลือบชั้นแรกแทรกซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษและไปอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้สารเคลือบชั้นที่สองซึมลงไปรูของกระดาษได้น้อยลงซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Elyas Afra และคณะที่ได้ทำการศึกษาการเคลือบนาโนเซลลูโลสลงบนกระดาษ [5]

2. ความหนากระดาษ (Thickness)

ความหนาของกระดาษเพิ่มขึ้นหลังจากเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสและมากขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สูงขึ้นหรือจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1) ตามผลของน้ำหนักสารเคลือบกระดาษเคลือบสองชั้น 1% (w/v) จะหนากว่ากระดาษเคลือบด้วย 2% (w/v) และ 3% (w/v) หนึ่งชั้น ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 น้ำหนักสารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

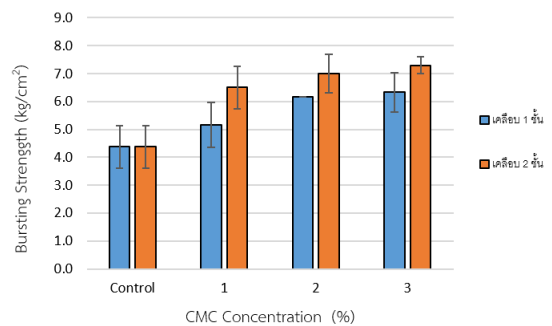
Coat weight (g/m ²)	Number of layer	Coat concentration (%)
4.2	1	1
5.4	2	1
4.8	1	2
5.5	2	2
5.1	1	3
5.8	2	3



รูปที่ 2 ความหนาของกระดาษผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

3. ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength)

รูปที่ 3 แสดงถึงกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสมีความต้านทานแรงดันทะลุสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเกิดเป็นชั้นที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของกระดาษและอยู่ในระหว่างเส้นใยของกระดาษทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันได้ดียิ่งขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงดันทะลุสูงขึ้น จากผลการศึกษาการเพิ่มปริมาณน้ำหนักสารเคลือบที่เกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสและจำนวนชั้นการเคลือบทำให้ความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น 2 kg/cm² ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสองชั้นที่ระดับความเข้มข้นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 1% (w/v) นั้นมากกว่ากระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสชั้นเดียวที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) และ 3% (w/v)

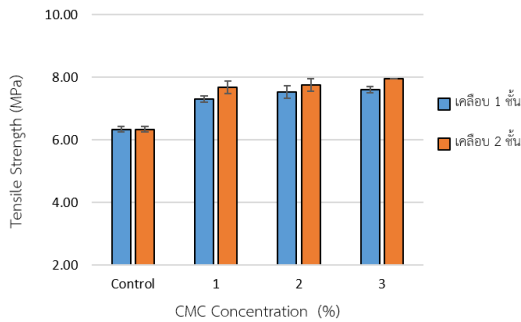


รูปที่ 3 ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

4. การทดสอบสมบัติทางด้านความต้านแรงดึง (Tensile Strength)

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากระดาษเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสมีความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้รับการเคลือบ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสามารถสร้างชั้นที่แข็งแรงด้วยสัดส่วนการยึดเหนี่ยวสูงซึ่งส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงของกระดาษเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

เพิ่มขึ้น ในผลการวิจัยการเพิ่มน้ำหนักสารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส อันเป็นผลมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสและจำนวนชั้นทำให้ความต้านทานแรงดึงของกระดาษเพิ่มขึ้นประมาณ 2 Mpa ความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสองชั้นที่ระดับความเข้มข้น 1% (w/v) นั้นมากกว่ากระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสชั้นเดียวที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) และ 3% (w/v)

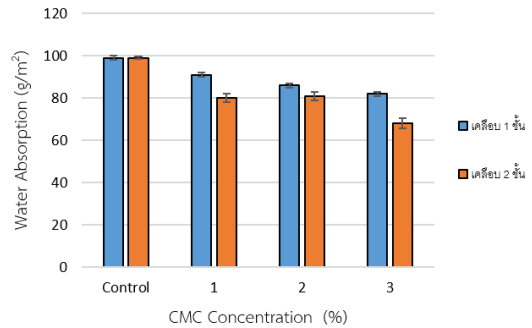


รูปที่ 4 ความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

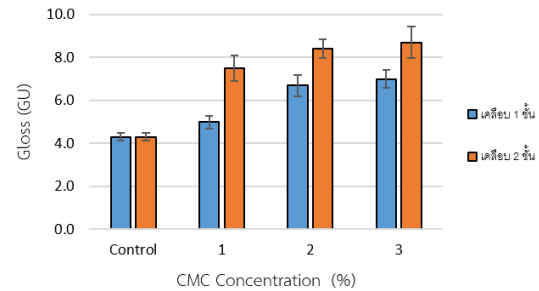
5. การดูดซึมน้ำของกระดาษ

จากผลการวิจัยการดูดซึมน้ำของกระดาษมีค่าลดลงเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสบนพื้นผิวของกระดาษ (รูปที่ 5) การลดลงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเกิดเป็นชั้นบาง ๆ บนผิวกระดาษทำให้รูบนผิวของกระดาษน้อยลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ ดังนั้นน้ำจึงสามารถซึมผ่านพื้นผิวได้น้อยลงอีกทั้งเมื่อมีการเคลือบเป็นสองชั้นกระดาษมีประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำที่ลดลงไปและเมื่อทำการเปรียบเทียบในแต่ละความเข้มข้นอัตราการดูดซึมน้ำในกระดาษเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสองชั้นระดับความเข้มข้น 3% (w/v) มีอัตราการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่ากระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสองชั้นที่ระดับความเข้มข้น 1% (w/v) และ 2% (w/v) จากผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Elyas Afra และคณะ [5] ซึ่งจาก

ผลการวิจัยดังกล่าวสามารถนำกระดาษไปประยุกต์ใช้ในการหีบห่อได้



รูปที่ 5 การดูดซึมน้ำของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส



รูปที่ 6 ความมันเงาของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

6. ความมันเงา (Gloss)

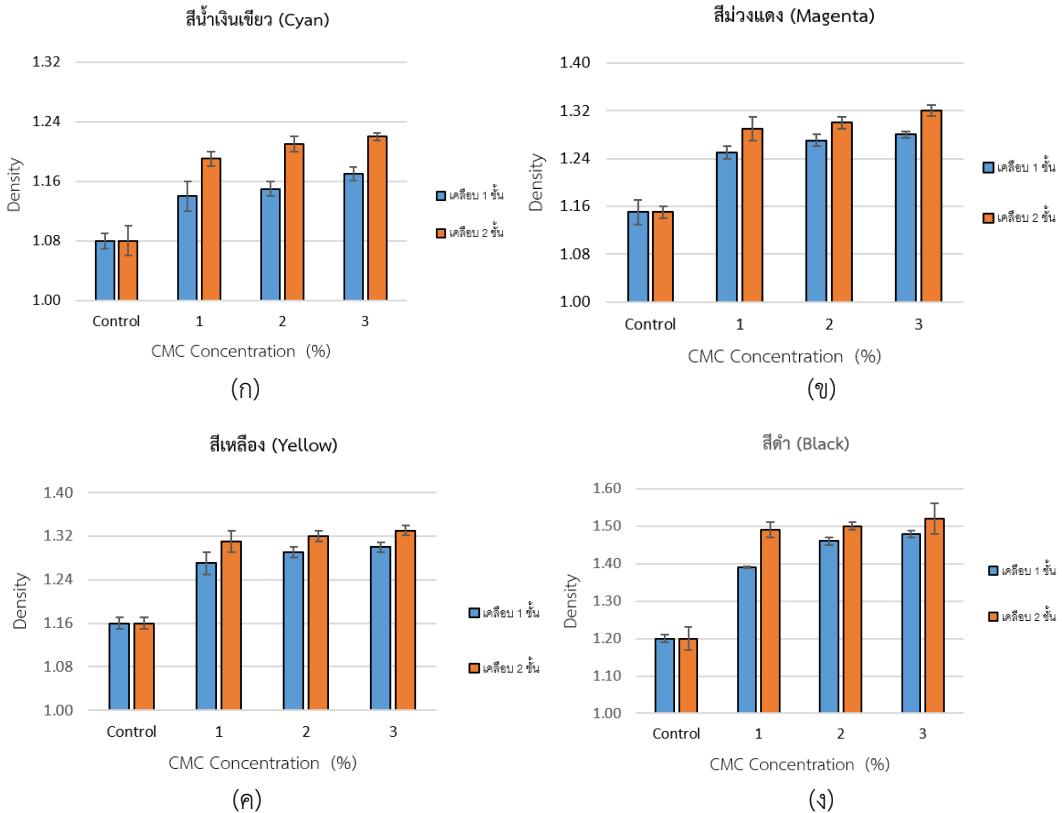
หนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของการพิมพ์กระดาษก็คือความเรียบและความมันเงาของกระดาษจะส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ จากผลการวิจัยค่าความมันเงาของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (รูปที่ 6) เกิดจากรูบนผิวกระดาษที่เต็มไปด้วยอนุภาคของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่หนาแน่นบนผิวของกระดาษ

7. ค่าความดําของงานพิมพ์ (Density)

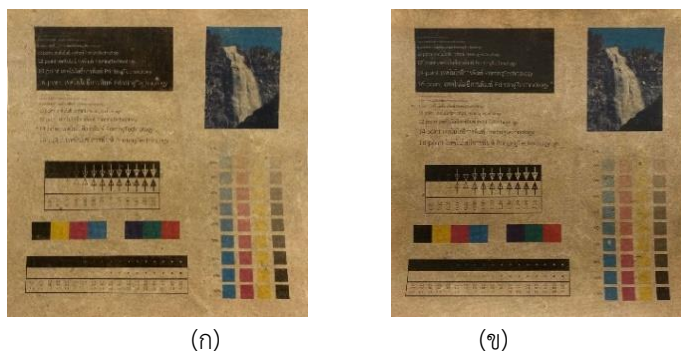
ค่าความดํา (Density) ของงานพิมพ์บนกระดาษเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ซึ่งแสดงถึงปริมาณหมึกพิมพ์ที่อยู่บนกระดาษโดยวัดค่าความดําจากแถบพื้นตายของหมึกพิมพ์แต่ละสี

ผลการวิจัย ค่าความดำของหมึกพิมพ์ทุกสีประกอบด้วย สีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) มีค่าความดำเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นนี้เนื่องจากการเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสบนผิวกระดาษทำให้รูบนผิวของกระดาษน้อยลงหมึกพิมพ์เป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำ (Water Base Ink) แทรกซึม

ลงไปกระดาษได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (รูปที่ 7) กระดาษเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสองชั้นระดับความเข้มข้น 1% (w/v) ค่าความดำมากกว่ากระดาษที่เคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสชั้นเดียวที่ระดับความเข้มข้น 2% (w/v) และ 3% (w/v)



รูปที่ 7 ค่าความดำของงานพิมพ์บนกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ก) สีน้ำเงินเขียว (ข) สีม่วงแดง (ค) สีเหลือง (ง) สีดำ



รูปที่ 8 การเก็บรายละเอียดงานพิมพ์ของกระดาษ (ก) กระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (ข) กระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

8. การทดสอบวัดคุณภาพงานพิมพ์

กระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส จะมีสีเหลืองอมน้ำตาลมีผิวที่มีรูพรุนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นได้ว่าภาพพิมพ์บริเวณพื้นตาย (Solid) หมึกพิมพ์มีลักษณะที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจะมีสีน้ำตาลมีผิวที่เรียกว่าเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าบริเวณภาพพื้นตาย (Solid) หมึกพิมพ์มีลักษณะที่เรียบสม่ำเสมอ (รูปที่ 8)

ตารางที่ 2 การเก็บรายละเอียดขนาดเส้นดำพื้นขาว (Positive) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

Number of layer	Coat concentration (%)	Dot size (mm)			
		0.004	0.007	0.014	0.21
0	0	x	x	/	/
1	1	x	/	/	/
2	1	x	/	/	/
1	2	x	/	/	/
2	2	x	/	/	/
1	3	x	/	/	/
2	3	x	/	/	/

ตารางที่ 3 การเก็บรายละเอียดขนาดเส้นขาวพื้นดำ (Negative) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

Number of layer	Coat concentration (%)	Dot size (mm)			
		0.004	0.007	0.014	0.21
0	0	x	x	/	/
1	1	x	/	/	/
2	1	x	/	/	/
1	2	x	/	/	/
2	2	x	/	/	/
1	3	x	/	/	/
2	3	x	/	/	/

ตารางที่ 2 และ 3 พบว่ากระดาษที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสามารถเก็บรายละเอียดขนาดของเส้นดำตั้งแต่ 0.014 มิลลิเมตร และกระดาษที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในทุกความเข้มข้นสามารถเก็บรายละเอียดขนาดของเส้นดำตั้งแต่ 0.007 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าการเคลือบกระดาษเยือกด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสมีผลทำให้กระดาษเรียบรองรับหมึกพิมพ์ได้ดีขึ้นจึงสามารถเก็บรายละเอียดเส้นที่มีขนาดเล็กได้

ตารางที่ 4 การเก็บรายละเอียดขนาดตัวอักษรดำพื้นขาว (Positive) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

Number of layer	Coat concentration (%)	Text size (mm)			
		0.14	0.21	0.28	0.35
0	0	x	x	x	/
1	1	x	x	/	/
2	1	x	x	/	/
1	2	x	x	/	/
2	2	x	x	/	/
1	3	x	x	/	/
2	3	x	x	/	/

ตารางที่ 5 การเก็บรายละเอียดขนาดตัวอักษรขาวพื้นดำ (Negative) ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

Number of layer	Coat concentration (%)	Text size (mm)			
		0.14	0.21	0.28	0.35
0	0	x	x	x	/
1	1	x	x	/	/
2	1	x	x	/	/
1	2	x	x	/	/
2	2	x	x	/	/
1	3	x	x	/	/
2	3	x	x	/	/

ตารางที่ 4 และ 5 พบว่ากระดาษที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสสามารถเก็บรายละเอียดขนาดของตัวอักษรได้ตั้งแต่ 0.35 มิลลิเมตร และกระดาษที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสในทุกความเข้มข้นสามารถเก็บรายละเอียดขนาดของตัวอักษรได้ตั้งแต่ 0.28 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าการเคลือบกระดาษเยื่อกล้วยด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสมีผลทำให้กระดาษเรียบรองรับหมึกพิมพ์ได้ดีขึ้นจึงสามารถเก็บรายละเอียดตัวอักษรที่มีขนาดเล็กได้

9. ผลการประเมินต้นทุนในการผลิตและพัฒนากระดาษ

เยื่อกล้วยปริมาณ 2 กิโลกรัม ราคา 350 บาท ใช้ผลิตเป็นแผ่นกระดาษขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ปริมาณ 25 กรัม/แผ่น ดังนั้นเยื่อกล้วย 2 กิโลกรัม จะสามารถผลิตกระดาษได้จำนวน 80 แผ่น เฉลี่ยราคาแผ่นละ 4.38 บาท สารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 1 กิโลกรัมราคา 296 บาท การเคลือบกระดาษชั้นเดียว ใช้สารเคลือบปริมาณ 4.7 กรัมต่อตารางเมตร ดังนั้นกระดาษขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ใช้สารเคลือบปริมาณ 0.19 กรัม/แผ่น เป็นราคา 0.64 บาท การเคลือบกระดาษ 2 ชั้น ใช้สารเคลือบปริมาณ 5.57 กรัมต่อตารางเมตร ดังนั้นกระดาษขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ใช้สารเคลือบปริมาณ 0.22 กรัม/แผ่น เป็นราคา 0.74 บาท เมื่อรวมราคากระดาษกับการเคลือบชั้นเดียวกระดาษจะมีราคาอยู่ที่ 5.02 บาท และกระดาษที่มีการเคลือบสองชั้นจะมีราคาอยู่ที่ 5.12 บาท

สรุปผล

กระดาษที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกันทั้งการเคลือบหนึ่งชั้นและสองชั้นส่งผลต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงดันทะลุ ความต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงความแข็งแรงของกระดาษโดยความแข็งแรงของกระดาษจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใย ความแข็งแรงของ

พันธะระหว่างเส้นใย ลักษณะการเรียงซ้อนของเส้นใย การเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษที่เกิดจากการเติมสารเติมแต่งสะท้อนให้เห็นในการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดของเส้นใย และการก่อตัวของพันธะไฮโดรเจนด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของ CMC นั้นบางมาก และอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดใหญ่ ดังนั้น พื้นที่ผิวจำเพาะจึงมีขนาดมากขึ้นมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนสูง หมูไฮดรอกซิลสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงขึ้นกับกลุ่มไฮดรอกซิลบนเส้นใย ดังนั้น CMC จึงถือเป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพกระดาษที่ดีเยี่ยมในการปรับปรุงความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษ [4] จากสรุปผลงานวิจัยดังกล่าวกระดาษที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์ประเภทหีบห่อได้หรือสามารถนำไปใช้กับการพิมพ์งานต่าง ๆ ได้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ และคณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร.ธัญบุรี ศูนย์นวัตกรรมออกแบบและสื่อคอนเวอร์เจนท์ ทนสนับสนุนโครงการวิจัย ปีงบประมาณ 62-64 ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Office of Industrial Economics. Economic news [Internet]. [cited 2021 Nov 10]. Availability from: <https://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/Industry%20conditions/Q1-2564.pdf>. Thai.
2. Lichanporn I, Akkarakultron P. [Effect of packaging types on quality of dried lotus stamens]. JARST. 2021;20(1):91-102. Thai.
3. Jinaohan N, Sangsuwan J, Suttasupa S, Khamthai S. [Properties of carboxymethyl

- cellulose (CMC) film from rice straw pulp]. *Agricultural Sci J.* 2012;43(3):616-20. Thai.
4. Li A, Xu D, Luo L, Zhou Y, Yan W, Leng X, et al. Overview of nanocellulose as additives in paper processing and paper products. *Nanotechnol Rev.* 2021;10(1):264–81.
 5. Afra E, Mohammadnejad S, Saraeyan A. Cellulose nanofibils as coating material and its effects on paper properties. *Pro Org.* 2016;101:445-60.