



## การพัฒนาสารเคลือบชีวภาพฐานเซลลูโลสจากเยื่อกากกล้วยและคุณลักษณะที่ส่งผลต่อ งานพิมพ์ระบบดิจิทัล

อัครเดช ทองสว่าง และ สุรัชชัย ชันแก้ว\*

สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ศูนย์นวัตกรรมออกแบบและสื่อคอนเวอร์เจนท์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
กัณฑ์พัฒน์ วงศ์ศรีหาทราย และ จิรวัดณ์ พงศ์พีระ  
สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6494 4550 อีเมล: surachai@mutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.05.002

รับเมื่อ 11 มิถุนายน 2564 แก้ไขเมื่อ 28 สิงหาคม 2564 ตอรับเมื่อ 5 ตุลาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 29 พฤษภาคม 2566

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

วัสดุฐานเซลลูโลสได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นนวัตกรรมที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถพัฒนาได้จากแหล่งวัตถุดิบที่หลากหลาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสารเคลือบชีวภาพฐานเซลลูโลสที่สกัดได้จากเยื่อต้นกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) ชนิดไม่ฟอกขาว (Unbleached Cellulose-based Coating; UBCC) และชนิดฟอกขาว (Bleached Cellulose-based Coating; BCC) สำหรับเคลือบบนวัสดุพิมพ์ประเภทกระดาษและศึกษาคุณลักษณะที่ส่งผลต่องานพิมพ์ระบบดิจิทัล โดยสารเคลือบชีวภาพฐานเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลสที่สกัดจากเยื่อกากกล้วยที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ร่วมกับเมทิลเซลลูโลส และกลีเซอรอล ร้อยละ 10 และ 5.0 โดยน้ำหนักของเซลลูโลสตามลำดับ โดยทำการเตรียมและเคลือบลงบนกระดาษ และทดสอบด้วยการพิมพ์ระบบพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโปโตกราฟี (เลเซอร์) และอิงค์เจ็ท ผลพบว่า สารเคลือบ UBCC มีสีเทา ขณะที่ BCC มีสีขาวครีม โดยทั้งสองมีค่าความหนืดใกล้เคียงกัน ผลคุณสมบัติหลังการแห้งตัวพบว่า UBCC และ BCC ที่ความหนาชั้นฟิล์มเปียก 120 ไมโครเมตร เมื่อแห้งสารเคลือบทั้งสองมีความหนาชั้นฟิล์มแห้งที่แตกต่างกัน คือ  $19.34 \pm 0.58$  และ  $23.70 \pm 1.47$  ไมโครเมตร ตามลำดับ ขณะที่ BCC มีสภาพพื้นผิวที่เรียกว่า UBCC อย่างเห็นได้ชัดเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทั้งนี้ BCC ส่งผลให้ค่าความมันวาวเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับความหนา ตรงข้ามกับ UBCC ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ความหนาชั้นฟิล์มเปียก 120 ไมโครเมตร ค่าความมันวาวของสารเคลือบทั้งสองมีค่าเป็น  $4.07 \pm 0.15$  และ  $1.53 \pm 0.06$  GU ตามลำดับ และ BCC ยังแสดงขอบเขตสีของงานพิมพ์ได้ดีกว่ากระดาษไม่เคลือบอย่างชัดเจนเมื่อทดสอบพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์อิงค์เจ็ท แต่แสดงผลใกล้เคียงกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบเมื่อพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์เลเซอร์ นอกจากนี้ คุณสมบัติด้านสี และการเก็บรายละเอียดของตัวอักษรและเส้น ยังรายงานไว้ในบทความนี้ด้วย

**คำสำคัญ:** สารเคลือบฐานเซลลูโลส วัสดุทางการพิมพ์ คุณภาพงานพิมพ์ ระบบพิมพ์ดิจิทัล พื้นผิวสิ่งพิมพ์

การอ้างอิงบทความ: อัครเดช ทองสว่าง, กัณฑ์พัฒน์ วงศ์ศรีหาทราย, จิรวัดณ์ พงศ์พีระ และ สุรัชชัย ชันแก้ว, “การพัฒนาสารเคลือบชีวภาพฐานเซลลูโลสจากเยื่อกากกล้วยและคุณลักษณะที่ส่งผลต่องานพิมพ์ระบบดิจิทัล,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 33, ฉบับที่ 3, หน้า 1-12, เลขที่บทความ 233-115149, ก.ค.-ก.ย. 2566.



## The Development of a Bio Cellulose-based Coating From Banana Stem Pulp and the Characteristics Resulted in Digital Printing Systems

Akaradet Tong sawang and Surachai Khankaew\*

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

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

Kantapatana Wongsrihadsray and Jirawatana Pongpeera

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

\* Corresponding Author, Tel. 08 6494 4550, E-mail: surachai@rmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.05.002

Received 11 June 2021; Revised 28 August 2021; Accepted 5 October 2021; Published online: 29 May 2023

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

Cellulose-based materials have generated wide interest in the researchers because they are an environmentally-safe innovation and can effectively develop from various raw materials. This research was designed to develop a bio cellulose-based coating extracted from banana stem pulp (*Musa sapientum* L.) of both unbleached cellulose-based coating (UBCC) and bleached cellulose-based coating (BCC) through the coating method on a paper substrate and to study characteristics that resulted in the quality of digital printing system. The bio cellulose-based coating consisted of 10 %wt. cellulose of banana stem pulp combined with methylcellulose and glycerol of 10 and 5.0 %wt. of cellulose, respectively. The coating was prepared and coated on paper and the printing was tested with electrophotography (laser) and inkjet printing systems. The results revealed that UBCC and BCC appeared in gray and beige colors of which their viscosity values were close to each other. Features of UBCC and BCC fabricated by the wet film with the thickness of 120  $\mu\text{m}$  coating showed differences in thickness of dry film at  $19.34 \pm 0.58$  and  $23.70 \pm 1.47 \mu\text{m}$ , respectively. The BCC's surface was transparently smoother than that of UBCC when observed by scanning electron microscope (SEM). So, the gloss increase of BCC was associated with the dry film thickness whereas the gloss of UBCC was gradually decreased. With the coating of the wet film thickness of 12  $\mu\text{m}$ , the gloss value of BCC and UBCC were  $4.07 \pm 0.15$  and  $1.53 \pm 0.06$  GU, respectively. Printed with Inkjet printing, BCC also distinctly revealed color gamut better than uncoated paper. The result of the BCC color gamut was approximate to the uncoated paper when printed with electrophotography. Furthermore, the color properties of printing, i.e. color, font, and line were also reported in this article.

**Keywords:** Cellulose-based Coating, Printing Material, Print Quality, Digital Printing, Print Surface

Please cite this article as: A. Tong sawang, K. Wongsrihadsray, J. Pongpeera, and S. Khankaew, "The development of a bio cellulose-based coating from banana stem pulp and the characteristics resulted in digital printing systems," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 3, pp. 1–12, ID. 233-115149, Jul.–Sep. 2023 (in Thai).

## 1. บทนำ

กระบวนการผลิตกระดาษเพื่อการพิมพ์และการเขียนนั้นมีความซับซ้อน ตอบสนองต่อความต้องการใช้งาน ความต้องการของผู้ผลิต และความต้องการของผู้บริโภค อาทิ กระดาษคราฟท์ (Kraft Paper) สำหรับงานบรรจุภัณฑ์ เป็นกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical Process) เน้นโครงสร้างภายในที่แข็งแรง มีความเหนียว และทนทานต่อแรงกระทำสูง แต่มีสีน้ำตาลอันเกิดจากการไม่ผ่านการฟอกขาว (Bleaching) กระดาษสำหรับพิมพ์และเขียนเป็นกระดาษที่ผ่านกระบวนการต้มเยื่อเชิงเคมี (Chemical Process) เพื่อกำจัดลิกนิน (Lignin) และผ่านการฟอกด้วยสารเคมีหลายชนิด ทำให้เนื้อกระดาษมีความละเอียด เรียบ และมีสีขาวสะอาด ขณะที่กระดาษใช้พิมพ์บางชนิดนอกจากจะผ่านการฟอกแล้ว ยังจำเป็นต้องปรับปรุงสภาพผิว (Surface Treatment) เพื่อให้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมต่อการพิมพ์และการนำไปใช้งาน [1] เช่น กระดาษอาร์ตการ์ด (Art Card Paper) สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์หรือกระดาษพิเศษสำหรับเครื่องพิมพ์ดิจิทัล (Digital Printing) ที่มีความหนาแน่น ความเรียบ ความสม่ำเสมอของสี และความมันวาวของสภาพผิวมากกว่ากระดาษทั่วไป เพื่อให้สามารถเก็บรายละเอียดของเม็ดสกรีน (Dot Screen) อันเกิดจากการถ่ายทอดหมึกพิมพ์ผ่านระบบการพิมพ์ต่างๆ ได้อย่างคมชัด รวมถึงต้องสามารถแสดงสีสันทันของหมึกพิมพ์นั้นได้อย่างดี [1] กระดาษชนิดนี้จึงมีการเคลือบผิวในกระบวนการผลิตด้วยวัสดุประเภทฟิล์ม (Film) หรือ สารเคลือบบางชนิด เช่น กลุ่มสสารที่มีอนุภาค เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงโครงสร้างแล้ว (Modified Calcium Carbonate) แป้งดัดแปร (Modified Starch) ดินขาว (Kaolin Clay) อนุภาคพลาสติก (Plastic Particle) แคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulfate;  $\text{CaSO}_4$ ) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide;  $\text{TiO}_2$ ) เป็นต้น [2] และกลุ่มพอลิเมอร์ เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ โคลพอลิเมอร์ (Maleic anhydride Copolymer) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly Vinyl Alcohol; PVA) และพอลิเมอร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น แป้งประจุบวก (Cationic Starch) พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid;

PLA) หรือสารเคลือบฐานเซลลูโลส เป็นต้น [3]

สารเคลือบฐานเซลลูโลส (Cellulose-based Coating) นับเป็นนวัตกรรมทางวัสดุที่นักวิจัยให้ความสนใจพัฒนา และนำมาใช้ในการเคลือบผิววัสดุพิมพ์ประเภทกระดาษอย่างต่อเนื่อง ซึ่งนอกจากเหตุผลด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว [2] สารเคลือบฐานเซลลูโลสยังเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ [3] ตัวอย่างสารเคลือบฐานเซลลูโลสที่มีการพัฒนาใช้งานด้านวัสดุทางการพิมพ์ เช่น ไคโตแซน (Chitosan) โซเดียมอัลจีเนต (Sodium Alginate) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy Methyl Cellulose; CMC) คาร์บอกซีเมทิลไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Hydroxypropyl Cellulose; CMHPC) หรือนาโนเซลลูโลสชนิดต่างๆ [2], [4], [5] เป็นต้น

พันธะกริยาของสารเคลือบฐานเซลลูโลสเกิดขึ้นโดยแรงยึดเหนี่ยวของสายโมเลกุลขนาดเล็กด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) และเติมเต็มความพรุนภายในโครงสร้างและผิวหน้าของกระดาษ Sharma และคณะ [2] รายงานว่าสารเคลือบนาโนเซลลูโลสที่เตรียมโดยผสมกับ CS สามารถช่วยลดการเกิดขุยและปัญหาจากฝุ่นขนาดเล็กในระหว่างทำการพิมพ์ได้ [2], [6] ในด้านคุณภาพงานพิมพ์ (Printed Quality) An และคณะ [3] ได้ศึกษาและพัฒนาสารเคลือบฐานเซลลูโลสชนิด CMHPC สำหรับการพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดใช้หมึกพิมพ์ฐานสีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dye) บนผ้าขนสัตว์ โดยเปรียบเทียบกับสารเคลือบชนิด CMC และ SA ซึ่งพบว่า ผ้าขนสัตว์ที่ปรับสภาพผิวหน้าด้วย CMHPC แสดงคุณภาพทางการพิมพ์ได้ดีกว่าทั้งในด้านความคมชัดของหยดหมึกและความเข้มสี (Color Strength) มากกว่าสารเคลือบชนิด SA อย่างเดียว

ต้นกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) นับเป็นหนึ่งในเศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีจำนวนมากแทบทุกภาคของประเทศไทย ผู้วิจัยได้ศึกษาความเป็นไปได้ในเบื้องต้น (Preliminary Laboratory) ในการเตรียมเซลลูโลสขนาดระดับไมโคร-นาโนเมตร โดยการปั่นบดเยือกากกล้วยน้ำว้าด้วยลูกแก้วและการปั่นเนียน (Glass Ball & Homogenizer) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการลดขนาดเซลลูโลสเชิงกล



(Mechanical Process) [7] และพบว่าได้สารเหนียวสีขาว ชั้นคล้ายครีม มีความหนืดสูง และมีสมบัติละลายน้ำได้ดี ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นสารยึด (Binder) สำหรับหมึกพิมพ์ ชั้นเหนียวได้ [8]

งานวิจัยเรื่องนี้ จึงประยุกต์ใช้สารเคลือบฐานเซลลูโลส ระดับไมโคร-นาโนเมตรที่สกัดได้จากเยื่อกากกล้วยน้ำว้า ซึ่งนับเป็นนวัตกรรมใหม่ที่พัฒนาจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรและสามารถหาได้ง่าย และใช้วิธีการเชิงกลอย่างง่ายในการเตรียม ทั้งนี้ เพื่อเคลือบและปรับปรุงสภาพผิวของของกระดาษพร้อมทั้งทดสอบและประเมินคุณสมบัติทางการพิมพ์ด้วยการพิมพ์ระบบดิจิทัล โดยมุ่งหวังว่านวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปพัฒนาและต่อยอดการผลิตเชิงพาณิชย์ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษวัสดุทางการเกษตร รวมถึงส่งเสริม และสร้างองค์ความรู้เฉพาะทางด้านการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์เพื่อการพัฒนาให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลยิ่งขึ้นไป

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมเยื่อจากต้นกล้วยน้ำว้าและการบดลดขนาดเซลลูโลส

การเตรียมเยื่อและการลดขนาดเยื่อกากกล้วยน้ำว้า ดำเนินตามกรรมวิธีของ Sibaly และ Jeetah [4] กล่าวโดยสรุปคือ ใช้กากกล้วยน้ำว้าแห้ง บดลดขนาด และกรองด้วยตะแกรง (Sieve) ขนาด  $2.0 \times 2.0$  มิลลิเมตร จากนั้นแช่เยื่อกากกล้วยน้ำว้าแห้งกับสารละลาย 10 %wt. NaOH ในอัตราส่วน 1 : 10 ส่วน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ต่ออีก 2.0 ชั่วโมง [4] ก่อนนำมาล้างจนสะอาดด้วยน้ำจะได้เยื่อกากกล้วยน้ำว้าที่มีความละเอียด สีเหลืองอมน้ำตาล ในกรณีเยื่อฟอก เตรียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการของ ประภาพรรณ และคณะ [5] โดยการแช่เยื่อแห้งในสารละลาย 4.0 %wt.  $H_2O_2$  อัตราส่วน 1 : 10 ส่วน เป็นเวลา 2.0 ชั่วโมง ก่อนล้างให้สะอาดในลำดับสุดท้าย

การบดลดขนาดเยื่อกากกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีการปั่นเนื้อเตรียมโดยผสมเยื่อกากกล้วยน้ำว้าแห้งต่อน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 15 ส่วน จากนั้นเติมด้วยลูกแก้ว (Glass Ball) ขนาด

3.0 มิลลิเมตร อีก 50 ส่วน ก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นกวนชนิดใบพัดสี่แฉก (4-bladed Stainless Steel Propeller Homogenizer, Yellow Line OST 20 Digital, German) โดยใช้ความเร็วในการปั่นเนื้อ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง [9] เมื่อครบเวลานำมาพักให้ตกตะกอนอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นอย่างน้อย 3 ซ้ำ ก่อนจะนำไปเหวี่ยงแยกเฟสของเซลลูโลสและน้ำออกจากกันด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal, BOECO, S-8, Germany) ที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3.0 นาที ก่อนจะแยกเอาส่วนของเซลลูโลสเข้มข้นออกมาเพื่อเตรียมการใช้งานในลำดับถัดไป

### 2.2 การเตรียมสารละลายสารเคลือบฐานเซลลูโลส

คำนวณความเข้มข้นของเยื่อตามวิธีของ Niazi และคณะ [10] ก่อนการนำไปใช้งาน โดยการปรับความเข้มข้นของสารละลายให้มีความเข้มข้นที่ 10 %wt. ด้วยน้ำกลั่น ตามด้วยเมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose (MC), Methocel<sup>®</sup>, Dow Chemical, USA) ที่ความเข้มข้น 10 %wt. และกลีเซอรอล (Glycerol ( $C_3H_8O_3$ ), ACS Reagent  $\geq 99.5\%$ , Sigma-Aldrich, USA) 5 %wt. ของน้ำหนักเซลลูโลสแห้ง ก่อนจะกวนให้เข้ากันอย่างช้าๆ และต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนระบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Stirrer, Big Squid, Lab World Yellow Line, IKA, Netherlands) อย่างน้อย 30 นาที หรือจนกว่าของผสมทั้งหมดจะเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยในการทดลองนี้ได้เตรียมอย่างน้อย 3 ซ้ำ ( $n = 3$ ) เพื่อเปรียบเทียบผลของสารเคลือบฐานเซลลูโลสทั้งชนิดไม่ฟอกขาว (Unbleached Cellulose-based Coating; UBCC) และชนิดฟอกขาว (Bleached Cellulose-based Coating; BCC)

### 2.3 การเคลือบสารเคลือบฐานเซลลูโลส

2.3.1 เตรียมกระดาษการ์ดขาว (Paper Board) น้ำหนัก 180 กรัมต่อตารางเมตร ขนาด A4 ( $210 \times 297$  มิลลิเมตร) ที่กำหนดพื้นที่ภายในเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด A6 ( $105 \times 148$  มิลลิเมตร) โดยการพิมพ์ภาพกรอบสี่เหลี่ยมเส้นทึบสีดำ ขนาด 1 พอยต์ (Point) ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือ

ที่รู้จักกันในชื่อระบบพิมพ์เลเซอร์ (Electrophotography หรือ Laser Printer) [1] เพื่อระบุตำแหน่งในการเคลือบสารเคลือบฐานเซลลูโลส ทั้ง UBCC และ BCC

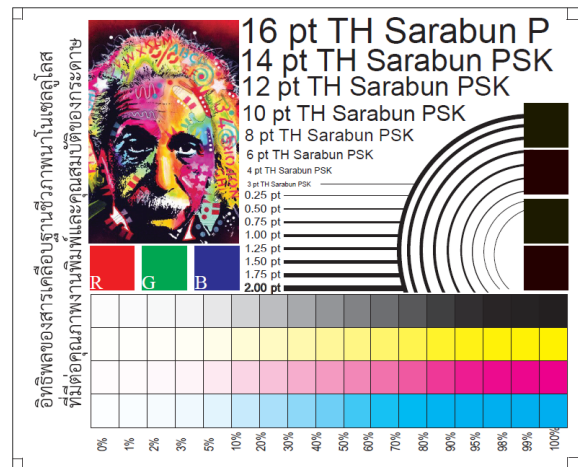
2.3.2 ใช้เครื่องเคลือบชนิดเคลือบ 4 ด้าน (4-side Film Applicator, ASTM D 823, BYK-Gardner, Germany) การเคลือบกระทำโดยหยดสารเคลือบฐานเซลลูโลสลงในตำแหน่งและปริมาณที่เหมาะสมตามแนวกว้าง จากนั้นทำการปาดเคลือบด้วยวิธีการลากปาด หรือ “Draw Down Test” [11] จนผ่านแนวยาวของตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่กำหนดไว้ จากนั้นทิ้งไว้ให้สารเคลือบแห้งตัวในสภาวะห้องทดลองอย่างน้อย 3.0 ชั่วโมง

## 2.4 การพิมพ์แบบทดสอบด้วยระบบพิมพ์ดิจิทัล

2.4.1 การพิมพ์ทดสอบ เพื่อประเมินคุณภาพงานพิมพ์ (Print Quality) บนสารเคลือบผิว ดำเนินการโดยใช้แบบทดสอบทางการพิมพ์ (Print Test Form) ที่ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 12647-7 ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดเชิงเส้นสีดำ (K 100%) ได้แก่ เส้นตรงและเส้นโค้งที่มีความหนา 0.10–2.00 พอยต์ และตัวอักษรภาษาไทยและอังกฤษรูปแบบ TH Sarabun PSK ขนาด 3–16 พอยต์ และแถบสกรีนที่มีพื้นที่เม็ดสกรีนตั้งแต่ 0–100% และภาพน้ำหนักสีต่อเนื่อง (Continuous Tone Picture) รูปแบบสี RGB ที่ความละเอียดภาพไม่น้อยกว่า 300 จุดต่อนิ้ว (dpi) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดถูกจัดวางด้วยซอฟต์แวร์ Adobe Illustrator CC และบันทึกไฟล์ในรูปแบบ pdf ที่ไม่มีการฝังโปรไฟล์ควบคุมคุณภาพสีใดๆ (ICC Profile) ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงดังรูปที่ 1

2.4.2 การทดสอบพิมพ์ ดำเนินการโดยนำกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วย UBCC BCC และกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (Control) มาทำการพิมพ์แบบทดสอบทางการพิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์ดิจิทัลที่แตกต่างกัน 2 ชนิด

- เครื่องพิมพ์ระบบเลเซอร์ (Digital Color Laser Printer, DCP-1510, ความละเอียดสูงสุดที่สามารถพิมพ์ได้ 2400 × 600 dpi, Brother, Japan)



รูปที่ 1 แบบทดสอบทางการพิมพ์สำหรับการพิมพ์ดิจิทัล

- เครื่องพิมพ์ระบบอิงค์เจ็ท หรือเครื่องพิมพ์ระบบพ่นหมึก (Digital Color Inkjet Printer, DCP-T420W, ความละเอียดสูงสุดที่สามารถพิมพ์ได้ 1200 × 6000 dpi, Brother, Japan)

โดยการพิมพ์ทั้งสอง พิมพ์โดยใช้ความละเอียดสูงสุดของอุปกรณ์และไม่ปรับตั้งโปรไฟล์จัดการสีใดๆ (ICC Color Profile)

## 2.5 การประเมินคุณสมบัติของสารเคลือบฐานเซลลูโลส

เนื่องจากสารเคลือบฐานเซลลูโลสในงานวิจัยนี้ พัฒนาเพื่อใช้ในการปรับปรุงสภาพผิววัสดุพิมพ์ประเภทกระดาษในการศึกษาคุณสมบัติของสารเคลือบเมื่อแห้ง (Dried-film Coating Agent) จึงเตรียมโดยการเคลือบสารเคลือบที่ควบคุมความหนาชั้นฟิล์มเปียก (Wet-film Thickness) แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 ไมโครเมตร โดยวิธีการเคลือบดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2.3.2 ลงบนกระดาษสำหรับทดสอบสีและสารเคลือบผิว (Pushen, PS 2930/1 (150 × 100 มิลลิเมตร) China) ในบริเวณพื้นที่สีขาวและสีดำ จากนั้น พิจารณาและวิเคราะห์ผลจากคุณสมบัติต่อไปนี้

2.5.1 การวัดค่าความหนาชั้นฟิล์มสารเคลือบ (Dried-film Thickness) ดำเนินการวัดขณะที่สารเคลือบแห้งตัวโดยสมบูรณ์แล้ว โดยใช้เครื่องวัดค่าความหนาวัสดุแบบราบ





ระบบดิจิทัล (Digital micrometer, US-22 B, Teclock, IDM Instruments, Japan) ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร โดยประยุกต์วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM D8136-17

2.5.2 การวัดค่าความมันวาวของสารเคลือบฐานเซลลูโลส ดำเนินการโดยใช้เครื่องวัดค่าความมันวาว (Gloss Meter, KG-300, Kerpler, Germany) โดยวัดที่มุมตกกระทบ 60° (องศา) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D523 ในบริเวณผิวฟิล์มของสารเคลือบขณะแห้ง

2.5.3 การวัดค่าสีของสารเคลือบที่ระดับความหนาต่างๆ วัดด้วยเครื่องวัดค่าสี (Spectrodensitometer) ในหมวดสี L\*, a\*, และ b\* โดย L\* หมายถึงค่าความสว่างสี (Lightness) ค่า a\* หมายถึงความเป็นสีแดงและสีเขียว และค่า b\* หมายถึงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ตามมาตรฐานของซีไออี (Commission Internationals de l'Exclairage, CIE) [12] โดยทำการวัดในตำแหน่งจุดกึ่งกลางของแผ่นกระดาษที่ทำการเคลือบ 1 แผ่น รวม 3 แผ่น

2.5.4 การประเมินค่าความแตกต่างสีรวม (Total Color Different (TCD) หรือ Delta E ( $\Delta E$ )) วิเคราะห์โดยการแทนค่าสี L\*, a\*, และ b\* ของสีในบริเวณที่ 1 (สีของกระดาษใช้พิมพ์) ต่อบริเวณที่ 2 (สีของสารเคลือบเมื่อแห้งบนผิวกระดาษ) และคำนวณโดยสมการที่ (1) [13]

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (1)$$

2.5.5 การตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของสารเคลือบดำเนินการโดยการบันทึกภาพถ่ายด้วยเครื่องกราดอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (Scanning Electron Microscope, SEM, JSM-5600LV, JEOL, Japan) ด้วยการเคลือบทองคำบริสุทธิ์ที่ความหนา 10–30 Å ก่อนติดตั้งตัวอย่างสารเคลือบบนแท่นติดตั้ง และตรวจหาตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนบันทึกภาพที่ความถี่ 15 กิโลโวลต์

## 2.6 การประเมินคุณภาพการพิมพ์

2.6.1 การประเมินคุณภาพงานพิมพ์ลายเส้น ทั้งเส้นโค้งเส้นตรง ตัวอักษรภาษาไทยและอังกฤษ ตรวจสอบลักษณะ

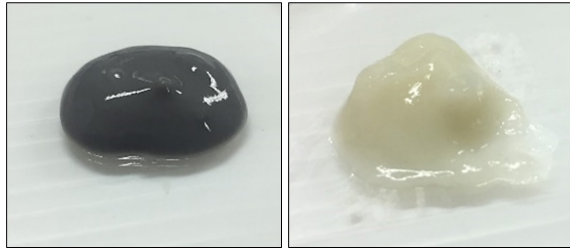
ปรากฏและความคมชัดของเส้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (Digital Microscope, RoHS-800x, China) ที่กำลังขยาย 800 เท่า โดยพิจารณาจากเส้นที่มีความชัดเจน (Legibility) สมบูรณ์ และมีขนาดเล็กที่สุดในแบบทดสอบที่วัสดุพิมพ์สามารถเก็บรายละเอียดได้ ทั้งในมิติของสี ขนาด และความคมชัด

2.6.2 การประเมินคุณภาพด้านการสร้างขอบเขตสี (Color Gamut) เพื่อศึกษาความสามารถในการเก็บและแสดงสีของภาพพิมพ์บนกระดาษ โดยการสร้างขอบเขตของการแสดงสีจากค่า a\* และ b\* ในลักษณะ 2 มิติ โดยให้ค่าสี a\* แทนแกน x และให้ค่าสี b\* แทนแกน y และเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน โดยวัสดุพิมพ์ใดแสดงสีของภาพพิมพ์บนกระดาษได้มากกว่าจะปรากฏขอบเขตของสีที่กว้างกว่า ทั้งนี้วิธีการนี้ได้ดัดแปลงจาก Bertalmio [13] โดยจะใช้ค่า a\*, และ b\* ของสีแม่สีทางการพิมพ์และแม่สีทางแสง รวม 6 สี ได้แก่ สีน้ำเงินเขียว (Cyan; C), สีม่วงแดง (Magenta; M), สีเหลือง (Yellow; Y), สีแดง (Red; R), สีเขียว (Green; G), และสีน้ำเงิน (Blue; B)

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 ผลการเตรียมสารเคลือบฐานเซลลูโลส

เซลลูโลสจากเยื่อต้นกล้วยน้ำว่าที่ลดขนาดแล้วทั้งแบบใช้เยื่อไม่พอกและเยื่อพอกขาวมีลักษณะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ลักษณะของเยื่อไม่พอกจะมีสีเทาดำ ในขณะที่เยื่อพอกจะมีสีขาวครีม อย่างไรก็ตาม ทั้งสองมีความเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous) ละเอียด และไม่สามารถมองเห็นลักษณะไม่พึงประสงค์ใดๆ รวมถึงไม่มีกลิ่น และมีความหนืดที่วัดได้ สำหรับเยื่อพอกมีค่าเป็น 1,806.30 ± 270.11 และเยื่อไม่พอกเป็น 2,100.37 ± 306.50 มิลลิปาสคาลวินาที (mPa.s) นอกจากนั้นยังสามารถละลาย และกระจายตัวได้ดีในน้ำแต่จะตกตะกอนและแยกชั้นให้เห็นได้ชัดเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน (>36 ชั่วโมง) ทั้งนี้ เมื่อนำมาเตรียมเป็นสารเคลือบชนิด UBCC และ BCC โดยผสมกับ MC และกลีเซอรอลแล้วพบว่า สารเคลือบทั้งสองยังคงคงลักษณะคล้ายเดิม แต่มีค่าความหนืดที่ตรวจสอบได้เพิ่มขึ้นเป็น

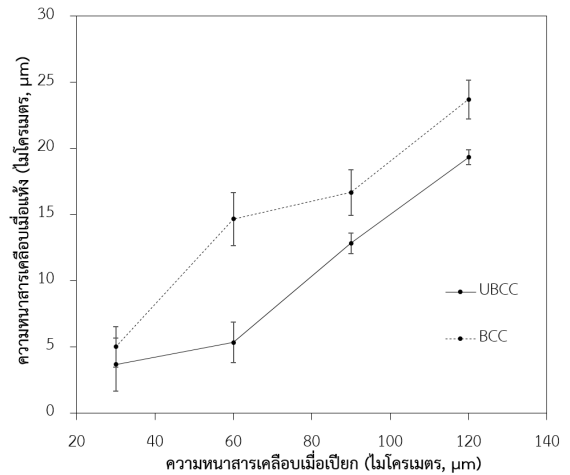


รูปที่ 2 ลักษณะของสารเคลือบฐานเซลลูโลสชนิดไม่ฟอก (UBCC, ภาพซ้าย) และชนิดฟอกขาว (BCC, ภาพขวา)

2,920.67 ±314.71 และ 3,065.00 ±635.39 มิลลิปาสกาล วินาที ลักษณะสารเคลือบทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 2

### 3.2 ผลคุณสมบัติด้านต่างๆ

3.2.1 ค่าความหนา ผลของการศึกษาความหนาชั้นฟิล์มแห้งของสารเคลือบทั้ง UBCC และ BCC โดยควบคุมความหนาชั้นฟิล์มเปียกที่ต่างกัน 4 ระดับ พบว่า สารเคลือบทั้งสองมีค่าความหนาชั้นฟิล์มแห้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแปรผันตามความหนาของชั้นฟิล์มเปียก อย่างไรก็ตาม สารเคลือบชนิด BCC มีความหนามากกว่า UBCC (รูปที่ 3) และที่ความหนาชั้นฟิล์มเปียก 120 ไมโครเมตร สารเคลือบชนิด UBCC และ BCC มีค่าความหนาชั้นฟิล์มแห้งเฉลี่ยเป็น  $19.34 \pm 0.58$  และ  $23.70 \pm 1.47$  ไมโครเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเพราะความแตกต่างทางกายภาพของเซลลูโลสในระดับไมโครเมตรของสารเคลือบทั้งสองที่แตกต่างกัน กล่าวคือ สารเคลือบทั้งสองชนิดอาจมีอัตราของความยาว (Length; L) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Dimension; D) หรือที่เรียกว่า Aspect Ratio (L : D) แตกต่างกันอย่างชัดเจน [7], [8] งานวิจัยของ Hei และ Seo [8] พบว่า ค่า L : D ของนาโนไฟบริลเซลลูโลส (Nanofibril Cellulose; NFC) ชนิดที่เตรียมจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood) มีค่าสูงกว่า NFC ที่เตรียมจากฝ้าย (Cotton Linter) มากกว่า 2 เท่า ซึ่งลักษณะดังกล่าว ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม NFC ที่ดีกว่า รวมถึงค่าความหนาของฟิล์ม NFC อย่างชัดเจน [8], [14] อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ ยังไม่ได้ศึกษาถึงผลของอัตราส่วน L : D ต่อสมบัติด้านต่างๆ ของชั้นฟิล์มแห้งสารเคลือบฐานเซลลูโลสนี้



รูปที่ 3 ค่าความหนาชั้นฟิล์มแห้ง (Dried-film Thickness) ของสารเคลือบฐานเซลลูโลส

3.2.2 ความมันวาว เป็นที่น่าสังเกตว่า ความมันวาวของสารเคลือบทั้ง UBCC และ BCC ในการทดลองนี้แสดงปรากฏการณ์ในลักษณะตรงกันข้าม กล่าวคือ ความมันวาวของ UBCC มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดแปรผกผันกับความหนาชั้นฟิล์มเปียกที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน BCC กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความหนาชั้นฟิล์มเปียก (ตารางที่ 1) ซึ่งผลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ตามความต้องการค่าความมันวาวที่แตกต่างกันได้ดี โดย ณ ความหนาชั้นฟิล์มเปียกที่ 120 ไมโครเมตร ค่าความมันวาวของกระดาษแบบไม่เคลือบเปลี่ยนแปลงไปจาก  $3.70 \pm 0.22$  GU ไปเป็น  $1.53 \pm 0.06$  และ  $4.07 \pm 0.15$  GU ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Sharma และคณะ [2] ที่กล่าวว่าสารเคลือบฐานผลึกนาโนเซลลูโลส (Cellulose Nanocrystals; CNCs) ช่วยเพิ่มความมันวาวของกระดาษจาก 2.65 ไปเป็น 4.09 GU

3.2.3 ค่าสีและความแตกต่างสีรวม ค่าสีของสารเคลือบชนิด UBCC มีสีคล้ำมาก ขณะที่ เป็นสารเคลือบ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเคลือบและปล่อยให้สารเคลือบแห้งตัว พบว่า สารเคลือบมีสีที่ดูสว่างขึ้น พิจารณาจากค่า  $L^*$  พบว่า มีค่าความสว่างเฉลี่ยที่ 73.21 ขณะที่ BCC มีลักษณะสว่างสีสูงกว่า เฉลี่ย 91.56 ซึ่งใกล้เคียงกับกระดาษขาว ( $L^* = 93.01$ ) ในขณะที่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ของ UBCC แสดงความเป็นสีแดง

และสีเหลืองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และ BCC มีความเป็นสีแดงและสีน้ำเงินมากกว่าอย่างชัดเจน

**ตารางที่ 1** ค่าความมันวาวของสารเคลือบฐานเซลลูโลส ที่ความหนาชั้นฟิล์มระดับต่างๆ

ความหนาฟิล์มเปียก ( $\mu\text{m}$ )	ค่าความมันวาว (Gloss) ที่ $60^\circ$ (หน่วย GU)		
	ไม่เคลือบ	UBCC	BCC
30	$3.70 \pm 0.22$	$2.73 \pm 0.12$	$3.50 \pm 0.10$
60		$2.40 \pm 0.20$	$3.68 \pm 0.18$
90		$1.57 \pm 0.06$	$4.30 \pm 0.10$
120		$1.53 \pm 0.06$	$4.07 \pm 0.15$

อย่างไรก็ตาม จากสภาพของสารเคลือบ UBCC ที่มีสีแตกต่างกันอย่างชัดเจน (รูปที่ 2) เมื่อแห้งจึงส่งผลต่อค่าความแตกต่างสีรวม ( $\Delta E$ ) เป็น  $21.74 \pm 2.49$  อย่างชัดเจนเช่นกัน ขณะที่ BCC มีสีขาวครีม เมื่อเปรียบเทียบกับสีของกระดาษ จึงมีค่า  $\Delta E$  เพียง  $4.95 \pm 1.89$  ผลแสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ค่าสีและค่าความแตกต่างสีรวม ( $\Delta E$ ) ของสารเคลือบฐานเซลลูโลสที่ความหนาชั้นฟิล์มเปียก 120 ไมโครเมตร

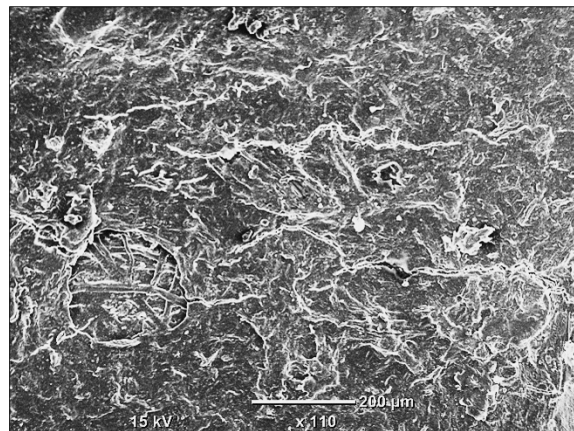
รายละเอียด	ไม่เคลือบ	UBCC	BCC
$L^*$ , $a^*$ , $b^*$ (บริเวณพื้นขาว)	93.01, 2.24, -7.15	73.21, 0.05, 1.55	91.56, 1.62, -2.47
Delta E ( $\Delta E$ ) (บริเวณพื้นขาว)	-	$21.74 \pm 2.49$	$4.95 \pm 1.89$

3.2.4 ลักษณะทางกายภาพของผิวหน้าฟิล์มสารเคลือบฐานเซลลูโลส

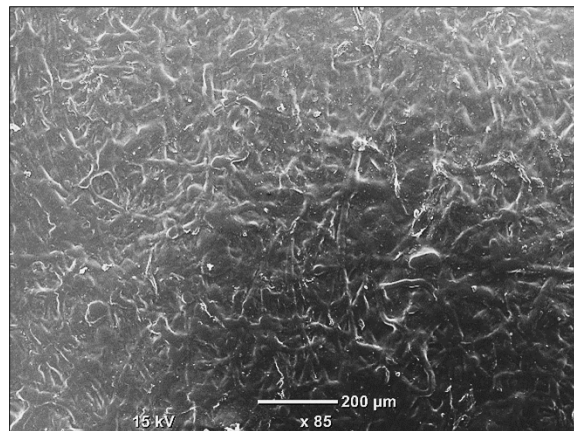
เมื่อพิจารณากระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวนั้น (รูปที่ 4 ก) จะพบว่า มีลักษณะหยาบประกอบด้วยเส้นใยขนาดใหญ่ระดับไมโครเมตรอย่างหนาแน่น รวมถึงเห็นความพรุน (Porosity) บริเวณผิวหน้ากระดาษและช่องเปิดโดยทั่ว ซึ่งส่งผลให้กระดาษนั้นไม่มีคุณสมบัติด้านความต้านทานที่ดี (Barrier Properties) ซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจน



(ก)



(ข)



(ค)

**รูปที่ 4** ลักษณะผิวหน้าของกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (ก) ผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วย UBCC (ข) และผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วย BCC (ค)



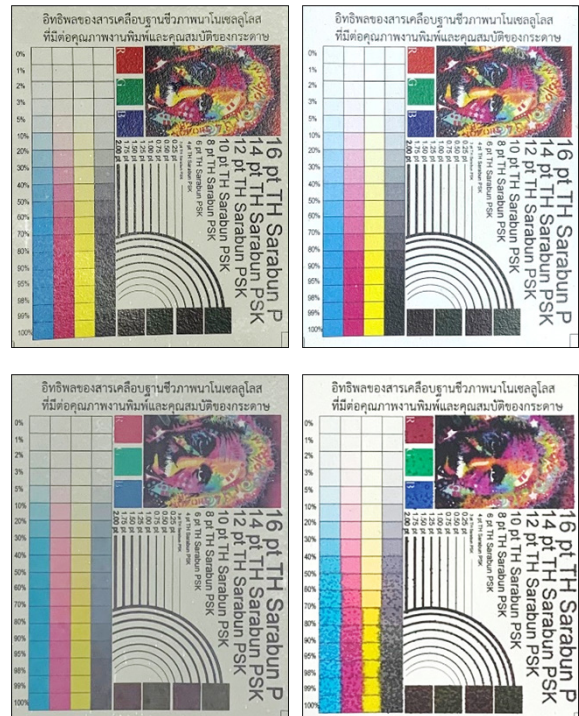
เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วย UBCC (รูปที่ 4 (ข)) และ BCC (รูปที่ 4 (ค)) กล่าวคือ เมื่อกระดาษถูกเคลือบ สภาพผิวหน้าของกระดาษจะถูกปกคลุมด้วยวัสดุฐานเซลลูโลสที่มีขนาดและความละเอียดสูง จนสามารถมองเห็นสภาพผิวที่มีความเรียบมากยิ่งขึ้น ไม่ปรากฏลักษณะของเส้นใย (เยื่อ) ขนาดใหญ่

อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 4 (ข) จะสังเกตเห็นว่าสภาพผิวของสารเคลือบ UBCC มีความขรุขระมากกว่า BCC อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4 (ค)) อาจเนื่องจากสารเคลือบดังกล่าว ใช้เส้นใยจากเยื่อกล้วยที่ไม่ผ่านการฟอกขาว จึงมีลักษณะหยาบและส่งผลต่อชั้นฟิล์มเมื่อแห้งที่หยาบและมีสภาพผิวที่ขรุขระตามไปด้วย ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความหนาตามหลักของอัตราความยาวต่อความเส้นศูนย์กลาง (Aspect Ratio) [2], [14] ในขณะที่สารเคลือบชนิด BCC ที่ความหนาชั้นฟิล์มเปียก 120 ไมโครเมตร (หรือความหนาฟิล์มแห้งเป็น  $23.70 \pm 1.47$  ไมโครเมตร) จะมีความเรียบมากกว่า อย่างไรก็ตามยังคงเห็นสภาพความขรุขระเล็กน้อยที่ปรากฏบนผิวหน้าได้

### 3.3 ผลการประเมินคุณภาพงานพิมพ์

#### 3.3.1 คุณภาพงานพิมพ์ลายเส้น

ผลคุณภาพงานพิมพ์ลายเส้นที่พิจารณาจากเส้นตรง เส้นโค้ง และตัวอักษรภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พบว่าตัวอย่างสิ่งพิมพ์ทั้งหมดที่พิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์เลเซอร์ให้คุณภาพทั้งตัวอักษร เส้นตรง และเส้นโค้งที่ดีกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยระบบพิมพ์อิงค์เจ็ท (รูปที่ 5) ผลดังกล่าวเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีว่าด้วยกลไกการถ่ายทอดหมึกพิมพ์ลงบนวัสดุของระบบการพิมพ์ทั้งสองที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน รวมถึงลักษณะเฉพาะของของหมึกพิมพ์ และการยึดติดของหมึกพิมพ์ภายหลังการถ่ายทอดด้วย [1] กล่าวคือระบบการพิมพ์เลเซอร์อาศัยการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ชนิดผงสีที่สังเคราะห์และเตรียมในรูปแบบของพอลิเมอร์ผงที่สามารถหลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่สูง (>300 องศาเซลเซียส) ผ่านลูกกลิ้งรีดร้อน (Fuser Roller) โดยยึดติดกับวัสดุพิมพ์และแห้งตัวโดยทันทีเมื่อทำการพิมพ์เสร็จ ลักษณะหมึกพิมพ์



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพงานพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์เลเซอร์ (ภาพบน) และระบบพิมพ์อิงค์เจ็ท (ภาพล่าง) บนสารเคลือบชนิด UBCC (ภาพซ้าย) และ BCC (ภาพขวา)

จึงคล้ายชั้นฟิล์มของแข็งบางๆ บนผิววัสดุพิมพ์ซึ่งมีความมันวาวสูง ในขณะที่งานพิมพ์ระบบพิมพ์อิงค์เจ็ท อาศัยการถ่ายทอดหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายโดยวิธีการพ่นเป็นหยดหมึกขนาดเล็กลงบนวัสดุพิมพ์ และทำแห้งตัวด้วยการระเหย หมึกพิมพ์ที่เป็นของเหลวจึงสามารถแทรกซึมไปตามโครงสร้างและเส้นใยของเยื่อกระดาษ และทำให้ความคมชัดของภาพและเส้นลดลงได้ [1] ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนเมื่อพิมพ์ลงบนกระดาษการ์ดขาวที่ผ่านการเคลือบด้วย UBCC และ BCC แสดงผลคุณภาพงานพิมพ์ลายเส้นได้ดีกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยเฉพาะ BCC ที่แสดงผลคุณภาพตัวอักษร เส้นตรง และเส้นโค้งที่ดีที่สุดในการทดลอง คือสามารถเก็บรายละเอียดตัวอักษรที่พิมพ์ด้วยระบบพิมพ์เลเซอร์และอิงค์เจ็ทได้เล็กที่สุดที่ 4.0 และ 8.0 พอยต์ ตามลำดับ

**ตารางที่ 3** ผลคุณภาพงานพิมพ์ลายเส้น ที่พิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์ดิจิทัลลงบนกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบฐานเซลลูโลส

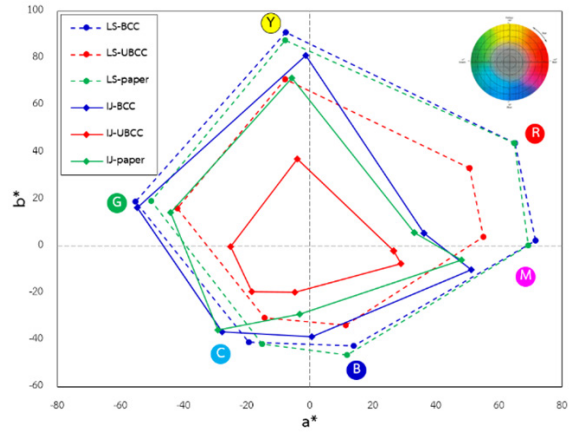
งานพิมพ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (เลเซอร์)			
รายละเอียด	ไม่เคลือบ	UBCC	BCC
ตัวอักษร			
ไทย (pt)	6.0	4.0	4.0
English (pt)	6.0	4.0	4.0
เส้นตรง (pt)	0.10	0.10	0.10
เส้นโค้ง (pt)	0.25	0.10	0.10
งานพิมพ์ระบบอิงค์เจ็ท (พ่นหมึก)			
รายละเอียด	ไม่เคลือบ	UBCC	BCC
ตัวอักษร			
ไทย (pt)	14.0	6.0	8.0
English (pt)	14.0	8.0	8.0
เส้นตรง (pt)	0.25	0.10	0.10
เส้นโค้ง (pt)	0.50	0.50	0.10

นอกจากนี้ยังแสดงผลคุณภาพเส้นตรงและเส้นโค้งได้เล็กที่สุดถึง 0.10 พอยต์ ผลดังตารางที่ 3 จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า สารเคลือบฐานเซลลูโลสมีอิทธิพลต่อการเก็บรายละเอียดและแสดงผลคุณภาพทางการพิมพ์ระบบดิจิทัลไปในทิศทางที่ดีขึ้นกว่าเดิม [2] Sharma และคณะ [2] อธิบายว่า นาโนเซลลูโลสที่ประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพงานพิมพ์โดยการพ่นเคลือบนั้นสามารถใช้ได้ดีในระบบพิมพ์เชิงพาณิชย์ (Commercial Printing System) บางชนิด อาทิ ระบบการพิมพ์ออฟเซต (Offset) โดยใช้ลิควินิน (Lignin) เป็นส่วนผสมในสารเคลือบฐานนาโนเซลลูโลส ซึ่งช่วยลดผลการยึดของกระดาษจากน้ำ (น้ำยาฟาว์นเทน (Fountain Solution)) ในกระบวนการพิมพ์ได้ดีกว่าการใช้สารเคลือบฐานผลึกนาโนเซลลูโลส

### 3.3.2 ขอบเขตสีของงานพิมพ์

ผลการประเมินขอบเขตสีของงานพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ที่เคลือบสารเคลือบฐานเซลลูโลสทั้งสองชนิด พบว่า

ขอบเขตสีของงานพิมพ์ที่แสดงบนวัสดุพิมพ์ประเภทกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบชนิด BCC สามารถแสดง



**รูปที่ 6** การเปรียบเทียบขอบเขตสี (Color Gamut) ของงานพิมพ์บนกระดาษที่ไม่เคลือบ (สีเขียว) และใช้สารเคลือบฐานเซลลูโลสทั้ง UBCC (สีแดง) และ BCC (สีน้ำเงิน) โดยขอบเขตสีของงานพิมพ์ระบบเลเซอร์แสดงด้วยเส้นประ (Laser; LS) และงานพิมพ์ระบบอิงค์เจ็ทแสดงด้วยเส้นทึบ (Inkjet; U)

ขอบเขตสีได้ดีกว่าวัสดุพิมพ์ชนิดไม่เคลือบ (Paper) เล็กน้อยเมื่อพิมพ์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (เลเซอร์) หรือระบบพิมพ์เลเซอร์ (LS-BCC) และให้ผลแคบกว่าในโทนสีน้ำเงิน (Blue; B) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากความสว่างสี ( $L^*$ ) ของกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบที่สูงกว่าและส่งผลต่อค่าสีในน้ำหมึกสีน้ำเงินซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับระบบพิมพ์อิงค์เจ็ท ขณะที่วัสดุพิมพ์ประเภทกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบชนิด UBCC จะแสดงขอบเขตสีที่แคบกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบค่อนข้างมาก ซึ่งอาจทำให้มีความเพี้ยนของสีสูง

ทั้งนี้ หากพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพที่ระบบการพิมพ์จะพบว่า งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยระบบพิมพ์เลเซอร์แสดงขอบเขตสีที่ดีกว่าระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทในทุกตัวแปร โดยเฉพาะในโทนสีแดง ( $+a^*$ ) ซึ่งเห็นได้ชัดถึงขอบเขตที่หายไป (รูปที่ 6) สอดคล้องกับผลในรูปที่ 5 ที่แสดงให้เห็นถึงความพร้อมของรายละเอียดขนาดเล็กที่เกิดจากการแพร่ของหมึกพิมพ์ฐานน้ำไปตามเส้นใยกระดาษ [2] อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวอาจเกิดจากคุณภาพของเครื่องพิมพ์ทั้งสองที่มีความละเอียดในการ

พิมพ์ส่งออกต่างกัน บนวัสดุพิมพ์ที่มีคุณภาพ เครื่องพิมพ์ที่มีความละเอียดสูง รวมถึง ระบบการถ่ายทอหมึกพิมพ์ และ ลักษณะเฉพาะของหมึกพิมพ์ระบบพิมพ์เลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นผงสี ต้องอาศัยความร้อนสูงจากลูกกลิ้งให้ความร้อนเพื่อหลอมละลายหมึกพิมพ์ผนึกติดบนผิววัสดุ แตกต่างอย่างชัดเจนกับระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทที่ใช้การพ่นหยดหมึกขนาดเล็กให้สัมผัสและเกาะติดผิววัสดุ [1] ซึ่งล้วนส่งผลต่อค่าสีและขอบเขตสีของงานพิมพ์ทั้งสิ้น และเป็นผลให้สามารถสรุปได้ว่า วัสดุพิมพ์

ประเด็นด้านขอบเขตสีในงานวิจัยนี้ แสดงชัดว่า กระดาษที่เคลือบสารเคลือบชนิด BCC นั้นแสดงขอบเขตสีที่ดีกว่า เหมาะสมกับการนำไปใช้งานกับเครื่องพิมพ์ระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทมากกว่าระบบพิมพ์เลเซอร์ ซึ่งนับเป็นประเด็นสำคัญที่สามารถนำไปพัฒนาและศึกษาต่อยอดทางเทคโนโลยีวัสดุทางการพิมพ์และประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนาคุณภาพงานพิมพ์ในอนาคตได้

#### 4. สรุป

นวัตกรรมการเคลือบฐานเซลลูโลสจาก ชนิด BCC ในงานวิจัยนี้ มีสมบัติที่ดีในด้านความมันวาว และเมื่อพิจารณาจากสมบัติทางการพิมพ์แล้ว ที่ความหนาฟิล์มเปียก 120 ไมโครเมตร สามารถเก็บรายละเอียดงานลายเส้น คุณภาพงานพิมพ์ และขอบเขตสีได้ดีกว่าการพิมพ์ลงบนกระดาษขาวที่ไม่ผ่านการเคลือบ โดยเฉพาะเมื่อพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์ดิจิทัลชนิดอิเล็กทรอนิกส์หรือระบบพิมพ์เลเซอร์ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบชนิด BCC ที่พัฒนาจากเยื่อฟอกขาวนั้น เหมาะสมกับการใช้งานด้วยระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทเนื่องจากสามารถแสดงขอบเขตสีได้ดีกว่ากระดาษพิมพ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบใดๆ ขณะที่ UBCC จากเยื่อไม่ฟอกขาวนั้นมีสีคล้ำ และส่งผลต่อคุณภาพด้านสีและขอบเขตสีจึงยังไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานเพื่อควบคุมคุณภาพสี ทั้งนี้ เซลลูโลสที่พัฒนาได้ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้วิเคราะห์อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่อาจมีผลต่อสมบัติบางประการ และผลด้านความต้านทานของสารเคลือบในงานวิจัยเรื่องนี้ เป็นการประยุกต์ใช้งานเพื่อการศึกษาความสามารถในการปิดบัง

พื้นผิว ซึ่งอาจจำเป็นต้องพิสูจน์ความน่าเชื่อถือเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เพิ่มเติม

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนงบประมาณรายได้คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร. ธัญบุรี ประจำปี พ.ศ. 2562-2563 ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยสาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ และคณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร.ธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนวัสดุเครื่องมือ และเอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดการวิจัยในครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Kipphan, *Handbook of Print Media*, Berlin: Springer, 2001.
- [2] M. Sharma, R. Aguado, D. Murinho, A. J. M. Valente, A. P. M. De Sousa, and P. J. T. Ferreira, "A review on cationic starch and nanocellulose as paper coating components," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 162, pp. 578-598, 2020.
- [3] F. An, K. Fang, X. Liu, C. Li, Y. Liang, and H. Liu, "Rheological properties of carboxymethyl hydroxypropyl cellulose and its application in high quality reactive dye inkjet printing on wool fabrics," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 164, pp. 4173-4182, 2020.
- [4] S. Sibaly and P. Jeetah, "Production of paper from pineapple leaves," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 5, pp. 5978-5986, 2017.
- [5] P. Tumthongkhum, N. Buataengtansakul, R. Chollakup, A. Jarerat, S. Netramai, and W. Kongtud, "Development of paper from oil palm empty fruit bunch and mesocarp, and



- paper mulberry fibers, with chitosan coating,” *RMUTP Research Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 37–49, 2019 (in Thai).
- [6] K. Dhali, M. Ghasemlou, F. Daver, P. Cass, and B. Adhikari, “A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability,” *Science of the Total Environment*, vol. 775, pp. 145871, 2021.
- [7] P. Samyn, A. Barhoum, T. Öhlund, and A. Dufresne, “Review: nanoparticles and nanostructured materials in papermaking,” *Journal of Materials Science*, vol. 53, pp. 146–184, 2018.
- [8] L.V. Hai and Y. B. Seo, “Properties of nanofibrillated cellulose prepared by mechanical means,” *Cellulose Chemistry and Technology*, vol. 52, no. 9, 741–747, 2017.
- [9] S. Khankaew and A. Photirattanasangchai, “UVA-monitored, cellulose-based binder colorimetric security printing ink,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 3, pp. 156–166, 2021 (in Thai).
- [10] M. B. K. Niazi, Z. Jahan, S. S. Berg, and Ø. W. Gregersen, “Mechanical, thermal and swelling properties of phosphorylated nanocellulose fibrils/PVA nanocomposite membranes,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 177, pp. 258–268, 2017.
- [11] R. H. Leach and R. J. Pierce, *The Printing Ink Manual*, 5th ed. Melbourne: Springer, 2009.
- [12] F.J. Francis, “Colorimetry of food,” in *Physical Properties of Food*, Westport: AVI Publishing, 1993, pp. 105–124.
- [13] M. Bertalmio, *Vision Models for High Dynamic Range and Wide Colour Gamut Imaging*, London: Academic Press, 2020, pp. 131–155.
- [14] X. Cao, Y. Wang, H. Chen, J. Hu, and L. Cui, “Preparation of different morphologies cellulose nanocrystals from waste cotton fibers and its effect on PLLA/PDLA composites films,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 217, 2021.