

**ผลของการเคลือบกระดาษแข็งด้วยพงบุกและโคโตซาน
ต่อคุณสมบัติการต้านทานน้ำและไขมัน
Effect of Coating with Konjac Glucomannan
and Chitosan Blend on Water and
Grease Resistance of Paperboard**

ณัททพร ชานัญญกรณ¹ กฤตিকা ตันประเสริฐ²

¹บริษัท ไทยอ็อฟเซต จำกัด กรุงเทพมหานคร 10120

²คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กุ้งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Nutthaporn Chanthungorn¹ Krittika Tanprasert²

¹Thaioffset Co.Ltd., Bangkok, 10120

E-mail: mj_owen@hotmail.com

²Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi,

Thungkru, Bangkok, 10140

E-mail: krittika.tan@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

กระดาษที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในหลายด้าน จำเป็นต้องมีสมบัติในการต้านทานความชื้นและไขมัน จึงนำมาเคลือบด้วยวัสดุธรรมชาติเพื่อเพิ่มสมบัติดังกล่าวโดยใช้สารเคลือบพงบุกและโคโตซาน โดยมีการเตรียมพงบุกและโคโตซานในสารละลายกรดอะซิติก 1% ที่อัตราส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ก่อนนำมาเคลือบลงบนกระดาษแข็งด้วยวิธี Solvent Casting และนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง การเคลือบลงบนกระดาษทำให้กระดาษมีคุณสมบัติดีขึ้น โดยเฉพาะด้านหลัง (บริเวณสีเทา) มีค่าต้านทานเชิงกล การต้านทานการยืดตัว การต้านทานน้ำและไขมันดีขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับคุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์การเคลือบทำให้สีของกระดาษมีโทนสีเหลืองเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: กระดาษ พงบุก โคโตซาน การต้านทานน้ำ การต้านทานไขมัน

Abstract

Paperboard can be converted into varieties of packaging. Oftentimes, paperboard requires moisture and grease resistance. The aim of this research is to improve water and grease resistance of paperboard by coating with Konjac glucomannan (KGM) and chitosan (CHI) film which are natural materials (biopolymer). The coating solution was prepared by dissolving 2 g of Konjaku and chitosan in 1% acetic acid solution. The assembly was then dried at 50 °C for 10 hours. The resistance moisture, grease, physical and mechanical properties of coated paperboard was improved, especially on the back side. Moreover, optical property in yellowness of the paper was also increased.

Keywords: paperboard, konjac glucomannan, chitosan, water resistance, grease resistance

1. บทนำ

ในปัจจุบันกระดาษถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในหลายด้าน ได้แก่ กล่องกระดาษบรรจุอาหาร กระดาษห่อของ กล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษเพื่อการขนส่ง โดยมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระดาษเป็นสินค้าที่มีความเชื่อมโยงกับการขยายตัวในหลายอุตสาหกรรม เพราะเป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์และสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ โดยมูลค่าการส่งออกสินค้าสิ่งพิมพ์ กระดาษ และบรรจุภัณฑ์มีมูลค่ากว่า 3,433.24 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ของปี 2553 อัตราขยายตัวร้อยละ 24.07 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันในปี 2552 [2] องค์ประกอบหลักของกระดาษคือ เซลลูโลส ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรู และด้วยคุณสมบัติของเซลลูโลสที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ทำให้เป็นข้อจำกัดของกระดาษในการสกัดกั้นไอน้ำ ทำให้ความชื้นสามารถซึมผ่านได้ กระดาษเมื่ออยู่ในสภาวะเปียกชื้นจะสูญเสียความแข็งแรง จึงเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกระดาษแข็ง จึงมีวิธีการนำกระดาษมาเคลือบด้วยพลาสติก เช่น PE, PP, PET, PVC และ PS [5] แต่เนื่องจากพลาสติกสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมได้เป็นระยะเวลานาน ย่อยสลายได้ยาก เกิดปัญหาขยะที่ส่งผลต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมาก

ดังนั้น การนำวัสดุธรรมชาติ (Biopolymer) มาเคลือบบนกระดาษเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดกั้นและสมบัติทางกายภาพ ทั้งยังนำไปใช้กับบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารได้โดยวัสดุธรรมชาติที่น่าสนใจ ได้แก่ โคโตซาน และแป้งบุก เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่หาได้ง่าย

โคโตซานเป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพที่มีมากในธรรมชาติเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยโคโตซานสกัดได้จากโคตินที่อยู่ในรูปของเปลือกของสัตว์น้ำ เช่น กุ้งและปู โดยอยู่ในรูปของโคตินที่มีหมู่อะซิติลต่ำที่เกิดจากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation) โคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์ เนื่องจากมีคุณสมบัติเกิดเป็นฟิล์มและเส้นใยที่ดี ก้ำชออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ มีการศึกษานำโคโตซานเคลือบลงบนกระดาษ พบว่าโคโตซานไม่ได้ยึดกันเป็นแผ่นฟิล์ม แต่แทรกซึมลงไปในกระดาษ ช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลและเพิ่มความต้านทานแรงฉีกขาด และทำให้กระดาษมีความทึบมากขึ้น แต่ไม่สามารถสกัดกั้นไอน้ำได้ [3] นอกจากนี้ การเคลือบโคโตซานลงบนกระดาษ เพื่อศึกษาความสามารถในการสกัดกั้น พบว่า สามารถสกัดกั้นก๊าซและไขมันได้ [4]

แป้งบุกเป็นพอลิแซคคาไรด์ มีมวลโมเลกุล (Molecular Weight) สูง สามารถละลายน้ำได้ มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ กลูโคมาแนน มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มและเป็นสารที่ให้ความคงตัว คือ เมื่อสารละลายแป้งบุกเกิดการสูญเสียน้ำหรือนำไปทำแห้ง จะได้ฟิล์มมีลักษณะเหนียว โดยฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีเสถียรภาพทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น หรือในสภาวะที่ทนกรดต่างได้ดี มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดกั้นน้ำและไขมันโดยนำผงบุกผสมกับกลีเซอรอล 0.1% 0.3% และ 0.5% พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดกั้นน้ำและไขมันได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ เพิ่มความสามารถความต้านทานเชิงกล แรงดันทะลุ และความต้านทานแรงฉีกขาดเพียงเล็กน้อย [6]

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาผลการผสมระหว่างแป้งบุก (1% w/v ในน้ำ) และโคโตซาน (1% w/v ในอะซิเตด) ทำให้แห้งเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อผลิตเป็นฟิล์ม โดยทำการวัดค่าความสามารถในการเข้ากันได้โดยใช้เครื่อง Infrared Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, Differential Scanning Calorimetry และ Wide-angle X-ray Diffraction พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างโคโตซานและแป้งบุกเป็น 80:20 จะแสดง

ค่าความสามารถในการเข้ากันได้ (Homogenous) มากที่สุด และเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่อะมิโนของโคโตซานและหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งบุก จึงเป็นผลให้มีค่าการต้านทานแรงดึงมากที่สุด [13]

การศึกษาการจัดเรียงตัวของเซลล์ (Cell Morphologies) และการเป่าฟิล์มด้วยเครื่อง Microscopy และ Cell Viability ด้วย MTT Assay พบว่า อนุภาคที่ใช้ผลิตเป็นฟิล์มของโคโตซานและแป้งบุกมีความคงตัวมากกว่าและมีค่าสัมประสิทธิ์ในการกระจายดีกว่าฟิล์มแป้งบุกบริสุทธิ์พร้อมทั้งช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มอีกด้วย [13] เนื่องมาจากการรวมตัวตัวของแป้งบุกและโคซานนั้นจะเกิดแรงภายในที่เป็นพันธะไฮโดรเจนทำให้ต้านทานเชิงกลและระยะยืดตัวสูงกว่าเมื่อเทียบฟิล์มแป้งบุกและโคโตซานเพียงอย่างเดียว ความสามารถในการละลายน้ำจะดีขึ้นเนื่องมาจากคุณสมบัติของแป้งบุก [12]

ด้วยคุณสมบัติที่ดีของทั้งโคโตซานและแป้งบุกดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงได้เห็นถึงความสำคัญ โดยนำโคโตซานผสมกับแป้งบุกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานความชื้นและไขมันและคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษเพื่อเป็นแนวทางในการใช้วัสดุธรรมชาติแทนพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก

2. วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

ผงบุกซื้อจากบริษัท Sunbelt Development Limited ประเทศจีน ลักษณะผงมีสีขาวหรือสีคล้ำเล็กน้อย มีอนุภาค 50-120 เมช โคโตซานสกัดเปลือกกุ้ง ซื้อจาก บริษัท Bonafides Marketing Company (ประเทศไทย) จำกัด ลักษณะผงมีสีขาว-เหลือง มี Molecular Weight 5000,000-1,000,000 และมีขนาดอนุภาค 30 เมช ภาดอะคริลิกซื้อจากบริษัท Acrylicmarker จำกัด ประเทศไทย ขนาด 24.5 x 24.5 เซนติเมตรหนา 5 เซนติเมตรนำมาใช้เป็นสำหรัในการเคลือบและกระดาษหน้าขาวหลังเทาได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Thaiunion Paper จำกัด ประเทศไทย มีน้ำหนักมาตรฐาน 300 กรัมต่อตารางเมตร และความหนาเฉลี่ย 0.037 มิลลิเมตร

การเคลือบกระดาษ

การเตรียมสารละลายผงบุก (2% w/v ใน 1% กรดอะซิติก) และโคโตซาน (2% w/v ใน 1% กรดอะซิติก) นำมาผสมตามอัตราส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ทำการคนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมงจนได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) แล้วเทลงบนภาดอะคริลิกที่วางกระดาษไว้ หลังจากนั้นนำภาดอะคริลิกเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเคลือบด้านหน้า (Clay Coated Side) และด้านหลัง (Non-coated Side) แยกคนละตัวอย่าง เมื่อครบเวลานำกระดาษที่ผ่านการเคลือบแล้วมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 °C, 65% RH อย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และแรงดึงตามมาตรฐาน TAPPI T410 [10], TAPPI T411 [9] และ TAPPI T404 [7] ตามลำดับ การวัดอัตราการดูดซึมน้ำทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T441 [11] การต้านทานน้ำมัน-ไขมันตามมาตรฐาน ASTM D 780-95 [1] และการวัดค่าสี L* a* และ b* ตาม TAPPI T560 [8] ใช้

Spectrophotometer ในการทดสอบ โดยทำการทดสอบตัวอย่าง 5 ซ้ำแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Tukey Multiple Comparison ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วางแผนการทดลองเป็นแบบ Single Factor Analysis of Variance โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา การยึดตัวของตัวอย่างกับกระดาษที่ไม่เคลือบสาร (Uncoated) ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความต้านทานน้ำ ความต้านทานไขมันนั้นจะเปรียบเทียบด้านที่เคลือบสารเท่านั้น เช่น เปรียบเทียบกระดาษที่เคลือบสารด้านหน้ากับด้านหน้าหรือกระดาษที่เคลือบสารด้านหลังกับด้านหลัง เป็นต้น

ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 5 ซ้ำและตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งของตารางหมายถึงค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3. ผลการวิจัย

สมบัติทางกายภาพ

หลังจากเคลือบกระดาษด้วยผงบุกและโคโคซาน พบว่า น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ไม่เคลือบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 299.92 g/m^2 และน้ำหนักมาตรฐานของน้ำหนักที่ผ่านการเคลือบด้วยสารแป้งบุกและโคโคซานที่อัตราส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ด้านหน้าค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง $300.72\text{-}301.44 \text{ g/m}^2$ ด้านหลังจะอยู่ในช่วง $300.8\text{-}302.24 \text{ g/m}^2$ (ตารางที่ 1) ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่เคลือบทั้ง 5 อัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งสาเหตุที่ทำให้กระดาษที่มีสารเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้นเกิดจากสารเคลือบได้ถูกนำมาเคลือบบริเวณผิวหน้าของกระดาษจึงทำให้เกิดมวลและน้ำหนักที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาความหนา (Thickness) เปรียบเทียบระหว่างกระดาษที่ไม่เคลือบสารและกระดาษที่เคลือบสาร พบว่า กระดาษที่เคลือบสารมีความหนาของกระดาษเพิ่มสูงขึ้นทั้งด้านหน้าและด้านหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบทั้ง 5 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วนระหว่างผงบุกและโคโคซานมีผลต่อความหนาของกระดาษเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของแป้งบุกและโคโคซานมีปริมาณไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้น จึงอาจส่งผลต่อความหนาของกระดาษไม่ชัดเจน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษหน้าขาวหลังเทาหลังเคลือบด้วยผงบุกและโคโตซาน ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

การเคลือบ	อัตราส่วน ผงบุกต่อ โคโตซาน	ความหนา (mm)	น้ำหนัก มาตรฐาน (g/m ²)	ความต้านทานแรงดึง (N/m ²)		การยืดตัว (%)	
				แนวขนาน เครื่อง	แนวขวาง เครื่อง	แนวขนาน เครื่อง	แนวขวาง เครื่อง
Uncoated	-	0.03731 ^a ±0.33	299.92±6.14	424.25±8.47	192.86±3.25	4.40 ^a ±0.24	11.66 ^a ±0.24
ด้านหน้า (สีขาว)	100:0	0.380 ^{ab} ±0.46	301.44±2.09	443.85±6.53	202.39±6.07	4.97 ^{ab} ±0.83	12.21 ^{ab} ±0.68
	75:25	0.0391 ^b ±0.70	302.40±1.33	444.31±3.50	202.07±3.75	5.27 ^{ab} ±0.56	14.01 ^b ±0.88
	50:50	0.0386 ^b ±1.14	301.44±1.34	458.15±3.61	201.37±2.33	5.36 ^{ab} ±0.37	12.40 ^{ab} ±0.30
	25:75	0.0391 ^b ±0.87	301.12±1.37	457.83±4.47	199.94±5.75	5.19 ^{ab} ±0.32	12.63 ^{ab} ±0.51
	0:100	0.0384 ^b ±0.92	300.72±1.63	477.90±2.08	197.88±5.98	5.30 ^{ab} ±0.19	12.86 ^{ab} ±0.39
ด้านหลัง (สีเทา)	100:0	0.0384 ^b ±0.93	301.6±3.15	496.04±4.13	198.15±4.10	7.67 ^b ±0.34	10.99 ^a ±0.51
	75:25	0.0385 ^b ±0.79	301.76±3.81	465.81±4.66	210.66±4.14	5.93 ^b ±0.22	13.23 ^{ab} ±0.19
	50:50	0.0383 ^{ab} ±0.72	301.84±2.48	482.84±4.47	202.65±4.74	5.82 ^{ab} ±0.42	12.58 ^{ab} ±0.17
	25:75	0.0381 ^{ab} ±0.53	302.24±2.84	462.46±2.41	202.35±3.46	5.25 ^{ab} ±0.24	12.63 ^{ab} ±0.47
	0:100	0.0384 ^a ±0.64	300.8±2.00	475.49±2.79	201.67±4.99	6.42 ^{bc} ±0.23	12.36 ^{ab} ±0.74

a-b เป็นตัวอักษรแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวตั้งด้วยวิธี Tukey's Test

คุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลของกระดาษมีความสำคัญมากสำหรับวัสดุที่จะใช้ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในการวิจัยครั้งนี้ ให้ความสนใจในเรื่องคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษหลังเคลือบมีผลเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากกระดาษไม่เคลือบหรือไม่ ความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 424.25 N/m² และความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผงบุกและโคโตซานที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้านหน้าแนวเกรน (MD) ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 443.85-477.90 N/m² และแนวขวางเกรน (CD) ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 197.88-202.35N/m² ส่วนด้านหลังแนวเกรนค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 462.46-496.04 KN/m² และแนวขวางเกรน 198.15-210.66 KN/m²และการยืดตัว (%Elongation) แนวเกรนของกระดาษที่ไม่เคลือบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 และแนวขวางเกรนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 11.60 และการยืดตัวของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผงบุกและโคโตซานที่อัตราส่วนต่าง ๆ เคลือบด้านหน้า แนวเกรนค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.97-5.36 แนวขวางเกรนค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12.2-14.0 ด้านหลังแนวเกรนค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.25-7.67 แนวขวางเกรนค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.9-13.2 โดยค่าการยืดตัวของอัตราส่วน 75:25 สูงทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งสอดคล้อง

กับการศึกษาผลการผลระหว่างแป้งบุก (1% w/v ในน้ำ) และโคโคซาน (1% w/v ในอะซิเตด) ทำให้แห้งเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อผลิตเป็นฟิล์ม พบว่า อัตราส่วนผลระหว่างโคโคซานและแป้งบุกเป็น 80:20 แสดงค่าความสามารถในการเข้ากันได้ (Homogenius) มากที่สุด [13]

ความต้านแรงดึงตามแนวเกรน แนวขวางเกรนและความยืดตัวมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่ามากกว่ากระดาษไม่เคลือบ อาจเป็นผลมาจาก การเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่อะมิโนของโคโคซาน และหมู่ไฮดรอกซิล พงบุกของฟิล์มที่เคลือบบนผิวกระดาษ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกระดาษเคลือบด้านหลัง (สีเทา) มีค่ามากกว่ากระดาษที่เคลือบด้านหน้า (สีขาว) อาจเนื่องจากกระดาษด้านหลังมีรูพรุนสูงและยังไม่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบมาก่อน ดังนั้น เมื่อทำการเคลือบด้วยแป้งบุกและโคโคซานจึงทำให้สารเคลือบสามารถซึมผ่านลงบนชั้นกระดาษได้เป็นอย่างดีต่างจากกระดาษด้านหน้า [6] ซึ่งได้ผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยน้ำยาเคลือบ ทำให้ช่องว่างระหว่างกระดาษลดลงสารเคลือบจากแป้งบุกและโคโคซานจึงไม่สามารถซึมผ่านไปในเนื้อกระดาษได้มาก

การต้านทานน้ำและไขมัน

การต้านทานน้ำและไขมันเป็นอีกเป้าหมายหลักของการวิจัยครั้งนี้ โดยทำการทดสอบทั้งกระดาษเคลือบด้านหน้าและด้านหลังเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ จากตารางที่ 2 พบว่า กระดาษด้านหลังเคลือบมีอัตราการดูดซึมน้ำที่มากขึ้นตามอัตราส่วนพงบุกที่เพิ่มขึ้น โดยกระดาษที่เคลือบสารที่อัตราส่วน 25:75 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ 3.12 g/m^2 สำหรับกระดาษที่เคลือบด้านหลัง พบว่า การเคลือบทำให้กระดาษสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยลง ดังจะเห็นได้จากการที่กระดาษที่ไม่เคลือบมีการดูดซึมน้ำสูงกว่ากระดาษที่เคลือบ โดยมีการดูดซึมน้ำที่สูงที่สุด คือ 21.53 g/m^2 เมื่อพิจารณาการเคลือบกระดาษที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า มีอัตราการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบสมบัติการต้านทานไขมัน-น้ำมันพบว่า กระดาษที่เคลือบมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมไขมัน-น้ำมันได้ดีกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ โดยทั้งด้านหน้าและด้านหลัง พบว่า กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่อัตราส่วน 0:100 มีการต้านทานน้ำมัน-ไขมัน ได้ดีที่สุด คือ 4.01 และ 4.53 ตามลำดับ จากผลการทดสอบ พบว่า การต้านทานดูดซึมน้ำมัน-ไขมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของโคโคซานเพิ่มขึ้น อาจด้วยเนื่องจากโคโคซานมีคุณสมบัติไม่ชอบไขมัน นั่นคือ มีการต้านทานน้ำมัน-ไขมันเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 2: การต้านน้ำและการต้านทานน้ำมัน-ไขมันของกระดาษหน้าขาวหลังเทาหลังเคลือบด้วยผงบุกและโคโตซาน ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

กระดาษ	อัตราส่วนผงบุกต่อโคโตซาน	อัตราการดูดซึมน้ำ (g/m ²)	การต้านทานน้ำมัน-ไขมัน	
			ระยะเวลาที่แทรกซึมบนกระดาษ (s)	เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดไขมัน (mm)
ด้านหน้า (สีขาว)	Uncoated	4.58 ^c ±2.32	4.71 ^a ±1.08	120 ^a ±0.99
	100:0	14.68 ^a ±4.23	4.54 ^a ±0.66	80 ^b ±0.55
	75:25	8.09 ^a ±6.63	4.44 ^a ±0.24	80 ^b ±0.38
	50:50	7.55 ^{ab} ±3.56	4.34 ^a ±0.99	90 ^b ±0.78
	25:75	3.12 ^c ±3.99	4.29 ^a ±0.65	70 ^b ±0.81
	0:100	5.11 ^c ±4.81	4.01 ^a ±0.99	80 ^b ±0.92
ด้านหลัง (สีเทา)	Uncoated	21.53 ^b ±6.54	11.00 ^b ±2.21	130 ^a ±2.58
	100:0	18.26 ^b ±5.18	6.32 ^a ±1.56	80 ^b ±1.49
	75:25	4.49 ^a ±2.84	5.04 ^a ±1.47	90 ^b ±1.54
	50:50	4.05 ^a ±5.21	5.10 ^a ±0.51	70 ^b ±0.77
	25:75	3.36 ^a ±3.85	5.02 ^a ±0.67	70 ^b ±0.58
	0:100	6.63 ^a ±6.48	4.53 ^a ±0.60	80 ^b ±0.65

a-c เป็นตัวอักษรแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวตั้งด้วยวิธี Tukey's Test

คุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์

คุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์มีความสำคัญมากสำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์เพราะมีผลต่อคุณภาพของการพิมพ์มากและคุณภาพการพิมพ์เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับบรรจุภัณฑ์เพราะเป็นสิ่งสื่อสารโดยตรงกับผู้บริโภค โดยทำการทดสอบกระดาษเคลือบด้านหน้าและด้านหลังเปรียบเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ พบว่า ค่า L* (บ่งบอกถึงความสว่างของกระดาษ) หรือความสว่างของกระดาษที่ไม่เคลือบสารเท่ากับ 100 (ตารางที่ 3) ค่าสี L* ของด้านหน้าทั้ง 5 อัตราส่วนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 97.73-99.65 และมีค่า L* เฉลี่ยของด้านหลังอยู่ในช่วง 74.86-76.34 นั้นหมายถึงกระดาษที่ไม่เคลือบสารมีความสว่างใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบ จากผลการทดลอง พบว่า กระดาษที่เคลือบด้วยแป้งบุกเพียงอย่างเดียวจะมีค่า L* น้อยที่สุดและจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมโคโตซานลงไป อาจเนื่องจากสารเคลือบจากแป้งบุกลักษณะเป็นของเหลว หนืดใส สีค่อนข้างเหลือง ส่วนสารเคลือบจากโคโตซานมีลักษณะเป็นของเหลว ใส เมื่อนำสารเคลือบทั้ง 2 อย่างมาผสมกันตามอัตราส่วน ทำให้ได้ของเหลวใส มีสีเหลืองลดลงตามอัตราส่วนโคโตซานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำมาเคลือบบนกระดาษ และผ่านการแห้งตัวด้วยความร้อนจะทำให้

กระดาษหลังเคลือบทำให้กระดาษมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโคโคซานที่เพิ่มขึ้น จนมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษที่ไม่เคลือบ

ส่วนค่า a^* (บ่งบอกถึงการไล่สีจากสีเขียวไปสีแดง) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกระดาษที่ไม่เคลือบและกระดาษที่เคลือบ พบว่า ด้านหน้ากระดาษที่ไม่เคลือบสารมีค่า a^* เฉลี่ยอยู่ในช่วง -0.14 ซึ่งมีค่าสูงกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารมีค่า a^* อยู่ในช่วง -0.17 – -0.20 นั่นคือ หลังจากเคลือบด้วยสารเคลือบแล้วกระดาษจะให้โทนสีเขียวมากขึ้น ส่วนด้านหลังเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษที่ไม่เคลือบและกระดาษที่เคลือบ พบว่า กระดาษที่ไม่เคลือบมีค่า a^* อยู่ในช่วง 0.64 มีค่าน้อยกว่ากระดาษที่เคลือบสารซึ่งมีค่า a^* อยู่ในช่วง 0.66-0.72 นั่นคือเมื่อเคลือบกระดาษที่ไม่เคลือบสารให้โทนสีแดงน้อยกว่า โดยหลังจากเคลือบสารแล้วให้ค่า a^* ด้านหน้าและด้านหลังต่างกัน อาจเนื่องมาจากกระดาษด้านหน้ามีการเคลือบสารเพื่อให้กระดาษมีความสว่างและให้โทนสีฟ้าเพื่อให้กระดาษมีความขาวเพิ่มขึ้น เมื่อเคลือบด้วยสารเคลือบแป้งและโคโคซานลักษณะเป็นของเหลวชนิดใสสีค่อนข้างเหลืองลงไป และผ่านการแห้งตัวด้วยความร้อนทำให้กระดาษมีโทนสีเขียวเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ค่า b^* (บ่งบอกถึงการไล่สีน้ำเงินไปยังสีเหลือง) พบว่า มีแนวโน้มเหมือนกันทั้งด้านหน้าและด้านหลัง จากผลการทดสอบ พบว่า กระดาษที่ไม่เคลือบด้านหน้ามีค่า b^* อยู่ในช่วง -0.26 และด้านหลังอยู่ในช่วง 4.53 มีค่าน้อยกว่ากระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งด้านหน้ามีค่า b^* อยู่ในช่วง -0.16 – 2.02 และด้านหลังอยู่ในช่วง 4.89-6.30 นั่นคือ เมื่อเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบแล้วทำให้กระดาษให้โทนสีเหลืองมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่า b^* ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า ค่า b^* จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนแป้งบุกที่เพิ่มขึ้น โดยกระดาษที่เคลือบด้วยแป้งบุกเพียงอย่างเดียวให้ค่า b^* สูงที่สุด

จากการเคลือบกระดาษมีผลทำให้กระดาษด้านหน้ามีค่า L^* ลดลง ส่วนด้านหลังมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ค่า b^* ของกระดาษหลังเคลือบทั้งด้านหน้าและด้านหลังมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนผงบุกที่เพิ่มขึ้น ในส่วนค่า a^* มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นสอดคล้องกับค่า H (Hue) กระดาษเคลือบสารที่อัตราส่วน 100:0 75:25 และ 0:100 มีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่ากระดาษไม่เคลือบและมากกว่ากระดาษที่เคลือบสารที่อัตราส่วน 25:75 และ 50:0 ในส่วนของค่าความอิ่มตัวของสี (C) กระดาษที่เคลือบสารทั้ง 5 อัตราส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 5.07-6.34 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่ากระดาษไม่เคลือบ ค่าความแตกต่างสี (ΔE) ของกระดาษด้านหน้าอยู่ในช่วง 0.4-2.8 และด้านหลังอยู่ในช่วง 0.4-2.2 ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับความแตกต่างสีน้อยกว่า 5 ซึ่งความแตกต่างสีไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 3 คุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษหน้าขาวหลังเทาเคลือบด้วยผงบุกและโคโตซานที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

กระดาษ	อัตราส่วน ผงบุกต่อ โคโตซาน	Color					ΔE
		L*	a*	b*	C	°H	
ด้านหน้า (สีขาว)	Uncoated	100.00 ^c ±0.27	-0.14±0.09	-0.26 ^a ±0.17	0.32±0.13	1.03±0.49	-
	100:0	98.46 ^b ±1.26	-0.26±0.12	2.02 ^b ±1.71	2.06±1.69	-1.37±0.16	2.8±0.28
	75:25	99.07 ^{bc} ±1.34	-0.17±0.09	0.91 ^{ab} ±0.75	0.93±0.76	-1.33±0.11	1.5±0.85
	50:50	99.65 ^c ±0.18	-0.2±0.14	-0.16 ^a ±0.14	0.26±0.18	0.33±0.66	0.4±0.28
	25:75	99.29 ^{bc} ±0.39	-0.2±0.09	-0.23 ^a ±0.08	0.31±0.10	0.86±0.24	0.7±0.13
	0:100	97.73 ^a ±0.46	-0.31±0.10	1.42 ^b ±0.90	1.47±0.87	-1.26±0.23	1.7±0.81
ด้านหลัง (สีเทา)	Uncoated	76.17±0.30	0.64±0.12	4.53 ^a ±0.43	0.80±0.08	1.43±0.001	-
	100:0	74.86±1.27	0.66±0.15	6.30 ^d ±0.96	6.34±0.94	1.46±0.004	2.2±0.24
	75:25	76.03±0.13	0.61±0.10	4.89 ^{ab} ±0.18	4.93±0.18	1.45±0.02	0.4±0.14
	50:50	76.34±0.39	0.69±0.10	5.07 ^{abc} ±0.17	5.12±0.18	1.44±0.02	0.6±0.35
	25:75	76.17±0.39	0.68±0.21	5.03 ^{ab} ±0.42	5.07±0.44	5.07±0.44	0.5±0.22
	0:100	75.43±1.04	0.72±0.06	5.21 ^a ±0.79	5.26±0.78	1.43±0.02	1.0±1.18

L* หมายถึง ความสว่างของกระดาษ

C หมายถึง ความอึมตัวของสี

a* หมายถึง การไล่สีจากสีเขียวไปสีแดง

°H หมายถึง ค่าแสดงเฉดสีของวัตถุ (Hue Angle)

b* หมายถึง การไล่สีน้ำเงินไปยังสีเหลือง

ΔE หมายถึง ความแตกต่างสี

a-d เป็นตัวอักษรแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวตั้งด้วยวิธี Tukey's Test

4. การอภิปรายผล

การนำวัสดุธรรมชาติ (Biopolymer) ได้แก่ ผงบุกและโคโตซานมาเคลือบบนกระดาษเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดกั้นและสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะกระดาษด้านหลัง (สีเทา) มีอัตราการดูดซึ่มและการต้านทานไขมันลดลงอย่างเห็นได้ชัด คุณสมบัติของกระดาษแข็งภายหลังการเคลือบด้วยผงบุกและโคโตซาน โดยเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนระหว่างผงบุกต่อโคโตซาน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 พบว่า เมื่อเคลือบกระดาษเคลือบผงบุกและโคโตซานมีผลต่อน้ำหนักมาตรฐาน ความต้านทานแรงดึง และการยึดตัว โดยทำให้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วน 75:25 มีค่าการยึดตัวที่ดีที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาผลการผสมระหว่างแป้งบุก (1% w/v ในน้ำ) และโคโตซาน (1% w/v ในอะซิเตด) ในการทำเป็นฟิล์ม [6] โดยศึกษา 6 อัตราส่วน ได้แก่ 90:10 80:20 60:40 40:60 และ 20:80 พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างโคโตซานและแป้งบุกเป็น 80:20 จะแสดงค่าความสามารถในการเข้ากันได้ (Homogenius) มากที่สุดและเกิดพันธะไฮโดรเจน

ที่แข็งแรงระหว่างหมู่อะมิโนของโคโตซานและหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งบุกจึงเป็นผลให้มีค่าการต้านทานแรงดึงมากกว่าการใช้ฟงบุกหรือโคโตซานเพียงอย่างเดียว [12]

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ (Cobb Test) พบว่า อัตราส่วนแป้งบุกต่อโคโตซาน ไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของกระดาษด้านหน้า โดยพบว่า มีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากด้านหน้ามีการเคลือบสารเพื่อทำให้ปรับปรุงผิวหน้า [6] ส่วนทางด้านหลัง พบว่า หลังเคลือบด้วยสารเคลือบแป้งบุกและโคโตซานทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของกระดาษได้อย่างชัดเจน โดยการดูดซึมน้ำของกระดาษที่เคลือบด้วยอัตราส่วนแป้งบุกต่อโคโตซานเท่ากับ 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีการดูดซึมน้อยกว่าการเคลือบด้วยสารเคลือบแป้งบุกหรือโคโตซานเพียงอย่างเดียวและพบว่ากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้านหลังมีการดูดซึมน้ำน้อยกว่าด้านหน้าสอดคล้องกับการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดกั้นน้ำและไขมันกระดาษเคลือบด้านหลังมีค่าการดูดซึมน้ำและการต้านทานน้ำมัน-ไขมันที่ดีกว่าด้านหน้า

กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบมีความต้านทานไขมัน-น้ำมันมากกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ โดยอัตราส่วนแป้งบุกต่อโคโตซานเท่ากับ 75:25 50:50 และ 0:100 มีค่าความต้านทานไขมัน-น้ำมันมีค่าใกล้เคียงกันและมีความต้านทานไขมัน-น้ำมันที่ดีกว่าการเคลือบด้วยสารเคลือบแป้งบุกหรือโคโตซานเพียงอย่างเดียว โดยพบว่า การต้านทานไขมันของกระดาษด้านหลังดีกว่าด้านหน้า

ผลจากการวัดค่าสี L^* a^* และ b^* ของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบจากแป้งบุกและโคโตซาน พบว่า กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบแป้งบุกและโคโตซานมีค่า L^* หรือความสว่างลดลงทั้งด้านหน้าและด้านหลัง และส่งผลให้ด้านหน้าค่าสี a^* มีค่าน้อยลง ให้โทนสีเขียวมากขึ้นและด้านหลังมีค่ามากขึ้น ให้โทนสีแดงมากขึ้น ส่วนค่า b^* ส่งผลให้มีค่า b^* เพิ่มขึ้น นั่นคือ ให้โทนสีเหลืองมากขึ้น สอดคล้องกันทั้งด้านหน้าและด้านหลัง สอดคล้องกับค่า °H (Hue) กระดาษเคลือบสารที่อัตราส่วน 100:0 75:25 และ 0:100 มีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่ากระดาษไม่เคลือบและมากกว่ากระดาษที่เคลือบสารที่อัตราส่วน 25:75 และ 50:0 ในส่วนของค่าความอิ่มตัวของสี (C) กระดาษที่เคลือบสารทั้ง 5 อัตราส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 5.07-6.34 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่ากระดาษไม่เคลือบ ทำให้มีสีสดใสใสมากกว่าและผลจากการวัดความแตกต่างสี ΔE ของกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบแป้งบุกและโคโตซาน พบว่า ทั้งด้านหน้าและด้านหลังมีค่าความแตกต่างของสีที่ชัดเจน ซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนระหว่างฟงบุกและโคโตซาน พบว่า มีค่าความแตกต่างสีที่เกิดขึ้นน้อย (ΔE) ≤ 5 ซึ่งไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า

ทั้งนี้การเปรียบเทียบกระดาษที่เคลือบฟงบุกและโคโตซานทั้ง 5 อัตราส่วนมีคุณสมบัติทางกายภาพการต้านทานน้ำและน้ำมัน-ไขมันและสมบัติด้านทัศนศาสตร์ไม่แตกต่างกันเนื่องมาจากสารเคลือบฟงบุกและโคโตซานที่เคลือบบนผิวหน้ากระดาษมีปริมาณความเข้มข้นของฟงบุกและโคโตซานมีปริมาณไม่ต่างกันมากนัก

5. สรุป

การปรับปรุงความต้านทานน้ำและไขมันของกระดาษแข็งโดยการเคลือบด้วยผงบุกและโคโคซาน โดยการเคลือบบนกระดาษด้วยสารเคลือบทำให้กระดาษมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น มีค่าต้านทานเชิงกล การต้านทานการยืดตัว การต้านทานน้ำและไขมันดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะด้านหลัง (บริเวณสีเทา) เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่อะมิโนของโคโคซานและหมู่ไฮดรอกซิลผงบุกของฟิล์มที่เคลือบบนผิวกระดาษ สำหรับคุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์การเคลือบทำให้สีของกระดาษมีโทนสีเหลืองเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Test Method for Printing Ink Permeation of Paper (Castor Oil Test), D780-95, Pennsylvania, 2003.
- [2] Department of International Trade Promotion, (2011, April). Report of export paper and packaging. [Online]. Available: <http://www.depthai.go.th/DEP/DOC/54/54000717.doc>
- [3] K. Khwaldia, E. Arab-Tehrany and S. Desobry, "Biopolymer coatings on paper packaging materials," *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, vol. 9, pp. 82-91, January 2010.
- [4] J. Kuusipalo, M. Kaunisto, A. Laine, and M. Kellomaki, "Chitosan as a coating additive in paper and Paperboard," *TAPPI JOUR. AL.*, vol. 4, no. 8, pp. 17-21, August 2005.
- [5] N. Subpratanporn, R. Yoksan, L. Jarupan, and T. Jinkan, "The effect of the concentration and type of coatings Polymer biological properties of corrugated board," Proceeding of 48th Conference of Kasetsart University, Bangkok, February 2010.
- [6] K. Suwannarat and K. Tanprasert, "Improvement of water and grease resistance of paperboard using Konjac glucomannan coating," IPPRI world packaging conference, Singapore, November 2012.
- [7] The Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), Tensile breaking strength and elongation of paper and paperboard (using pendulum-type tester), T404-cm92, Georgia, 1992.
- [8] The Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), 1996, CIE whiteness and tint of paper and paperboard (using d/0°, diffuse illumination and normal viewing), T560-pm96, Georgia, 1996.
- [9] The Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board, T411-om97, Georgia, 1997.

- [10] The Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), Grammage of paper and paperboard (weight per unit area), T410-om08, Georgia, 2013.
- [11] The Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper, paperboard, and corrugated fiberboard (Cobb test), T441-om09, Georgia, 2013.
- [12] C. Xiao, S. Gao, H. Wang and L. Zhang, "Blend films chitosan and konjac glucomannan solutions," *Applied polymer science*, **vol.** 76, **no.** 4, pp. 509-515, April 2000.
- [13] X. Ye, J. F. Kennedy, B. Li and B. J. Xie, "Condensed state and biocompatibility of the konjac glucomannan/chitosan blend film," *Science Direct*, **vol.** 64, pp. 532-538, December 2005.