บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล แบ่งออกเป็น 5 ตอน ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษจากฟางข้าวและเยื่อจากกระดาษใช้แล้ว ตอนที่ 2 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยกระดาษใช้แล้วในการผลิตเป็นกระดาษดูดซับเอทิลีน ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วเพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษ ตอนที่ 4 ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว ตอนที่ 5 ศึกษาสมบัติในการชะลอการสุกของกล้วยหอมของกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วและผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษจากฟางข้าวและเยื่อจากกระดาษใช้แล้ว

ตอนที่ 1.1 ศึกษาวิธีเตรียมเส้นใยฟางข้าวด้วยวิธีโซดา

วิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยฟางข้าวในงานวิจัยนี้คือ นำฟางข้าวมาตัดให้มีขนาด 3–5 เซ็นติเมตร แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% (w/w) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำเปล่าจนค่า pH เป็นกลาง

ตอนที่ 1.2 ศึกษาวิธีเตรียมเยื่อกระดาษใช้แล้วด้วยวิธีหมักน้ำ

วิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยฟางข้าวในงานงานวิจัยนี้คือ นำกระดาษที่เหลือจากกระบวนการตัดเจียนขอบตำราเรียน มสธ. นำมาแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ตีเยื่อด้วยเครื่องตีเยื่อความเร็วรอบ 1,792 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที จะได้เส้นใยกระดาษใช้แล้ว

ตอนที่ 2 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยกระดาษใช้แล้วในการผลิตเป็นกระดาษดูดซับเอทิลีน

ตอนที่ 2.1 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยกระดาษใช้แล้ว

ได้นำเส้นใยฟางข้าวที่ปรับสภาพแล้วและเส้นใยใช้แล้วมาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่กำหนด โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างเส้นใยฟางข้าวต่อเส้นใยกระดาษใช้แล้วที่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ตามลำดับ พบว่าสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ทุกอัตราส่วน โดยกระดาษสูตร A1 ที่มีปริมาณฟางข้าวร้อยละ 100 จะมีสีเหลืองมากที่สุด กระดาษสูตร A5 ที่มีปริมาณกระดาษใช้แล้วร้อยละ 100 จะมีสีขาวที่สุด ไล่เรียงเฉดสีตามลำดับ เมื่อศึกษาด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จะพบว่ากระดาษมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นรูพรุน กระจายอยู่ทั่วผิวกระดาษ

ตอนที่ 2.2 ศึกษาสมบัติของกระดาษจากเส้นใยฟางข้าวที่ปรับสภาพและเส้นใยกระดาษใช้แล้ว

กระดาษจากเส้นใยฟางข้าวและเส้นใยใช้แล้วที่ได้มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 90–96 กรัมต่อตารางเมตร มีความหนาอยู่ในช่วง 35–40 ไมครอน มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.29–2.45 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้

ค่าความต้านทานแรงดึง ค่า TEA ค่าร้อยละการยืดตัว ดัชนีการดึงยืด และค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากเส้นใยฟางข้าวผสมเส้นใยกระดาษใช้แล้ว พบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีประมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก เส้นใยฟางข้าวเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่และมีความยาวมากกว่าเส้นใยกระดาษใช้แล้ว ดังนั้นกระดาษที่มีปริมาณเส้นใยฟางข้าวมากกว่าจึงมีความแข็งแรงมากกว่า เนื่องจากถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยฟางข้าวนั่นเอง

เมื่อพิจารณาจากสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ จึงเลือกกระดาษสูตร A2 อัตราส่วนระหว่างเส้นใยฟางข้าวต่อเส้นใยกระดาษใช้แล้ว ที่ 75:25 ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้กระดาษที่มีความแข็งแรงและการดึงยืดที่เหมาะสม และสามารถขึ้นรูปได้ง่ายเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าว

ผสมกระดาษใช้แล้วเพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษ

ตอนที่ 3.1 การเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปรลงบนกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว

นำกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วสูตร A2 มาปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษให้ดียิ่งขึ้นด้วยการเคลือบผิวด้วยแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยควบคุมความหนาของชั้นเคลือบด้วยบาร์โค้ด กำหนดเป็นชุดทดลอง B1–B5 โดยปรับเปลี่ยนความหนาชั้นเคลือบที่ 0, 50, 60, 80 และ 100 ไมครอน ตามลำดับ

สมบัติของกระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปร พบว่า กระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 90–104 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้นแป้งที่เคลือบลงไปบนกระดาษ กระดาษมีความหนาอยู่ในช่วง 35–46 ไมครอน สอดคล้องกับบาร์โค้ดที่ใช้เคลือบ และกระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.29–2.45 กรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตอนที่ 3.2 การศึกษาสมบัติของกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

ค่าความต้านทานแรงดึง ค่า TEA ค่าร้อยละการยืดตัว ดัชนีการดึงยืด และค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของแป้งที่ใช้เคลือบ โดยเพิ่มสูงสุดที่ สูตร B3 ที่ความหนา 60 ไมครอน ใช้บาร์โค้ดเบอร์ 6 หลังจากนั้น แม้จะใช้บาร์โค้ดที่ให้ความหนาชั้นเคลือบมากขึ้น แต่ค่าการต้านทางแรงดึงจะไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณแป้งที่มากขึ้น และการเลือกใช้แป้งที่มีประจุ อาจทำให้แป้งเกิดการเกาะกลุ่มกันเองมากกว่าที่จะไปเคลือบบนผิวกระดาษ ซึ่งการกระจายตัวของชั้นเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอจึงเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงนั่นเอง

เมื่อพิจารณาจากสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ จึงเลือกสูตร B3 ที่ความหนา 60 ไมครอน ใช้บาร์โค้ดเบอร์ 6 ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้กระดาษที่มีความแข็งแรงและการดึงยืดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ

ตอนที่ 4 ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าวผสม

กระดาษใช้แล้ว

ตอนที่ 4.1 การศึกษาสมบัติของผงถ่านกัมมันต์

ผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 1,006 mg/g มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.7% ปริมาณสารระเหยเท่ากับ 2.5% ค่าคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 91.3% สัณฐานวิทยาของเส้นใยกระดาษใช้แล้วจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผงถ่านกัมมันต์มีทั้งที่เป็นชิ้น รูปทรงไม่สมมาตร และมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก รูพรุนมีขนาด 1–3 ไมครอน การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบการดูดกลืนรังสีช่วงประมาณ 1,560 cm^{-1} แสดงถึงพันธะ C = C ในหมู่แอโรมาติก พบการดูดกลืนรังสีช่วงประมาณ 2,800–2,900 cm^{-1} เป็นการสั่นของกลุ่ม C – H, C = H Stretching ของหมู่ Aromatic Methoxyl Groups

ตอนที่ 4.2 การศึกษาปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว

จากผลการทดลองพบว่า สามารถเคลือบผงถ่านกัมมันต์สูงสุดได้ที่ร้อยละ 30 ถ้ามากกว่านั้นจะผสมผงถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายแป้งได้ยาก สารละลายจะมีความหนืดสูงมาก เคลือบคลุมพื้นผิวได้ไม่สม่ำเสมอ และพบว่าเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่มากขึ้น กระดาษที่ได้จะมีสีเข้มขึ้นไปตามลำดับ อีกทั้งการหลุดลอกของผงถ่านกัมมันต์จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ตอนที่ 4.3 ศึกษาสมบัติของกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วเคลือบผงถ่านกัมมันต์

ค่าความต้านทานแรงดึงและค่า TEA ของกระดาษจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เคลือบผิว ค่าร้อยละการยืดตัวและดัชนีการดึงยืดของกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ จะมีแนวโน้มลดลง คล้ายคลึงกับค่าความต้านทานแรงดึงและค่า TEA

ความหนาที่เพิ่มขึ้นของชั้นผงถ่านกัมมันต์ ส่งผลกระทบน้อยมากต่อค่าความต้านทานการดันทะลุ ซึ่งทำใช้ชิ้นมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการใช้งานในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ และเมื่อเพิ่มปริมาณผลถ่านกัมมันต์จะทำให้กระดาษมีค่าปริมาณการดูดซึมน้ำที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผงถ่านกัมมันต์มีส่วนที่เป็นรูพรุน ซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้

เมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์มากขึ้นจะทำให้ค่า % การหลุดลอกของผงถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนที่เติมลงไป จากนั้นค่า % การหลุดลอกจะคงที่ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่

20–30% (สูตร C4 และ C5) แสดงให้เห็นว่าสำหรับการประยุกต์ใช้ในรูปแบบกระดาษดูดซับก๊าซเอทิลีน สามารถทำได้โดยค่าการหลุดลอกอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

กระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ที่ได้ มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 107–141 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าความหนาอยู่ในช่วง 40–46 ไมครอน ซึ่งมีค่าความหนาและน้ำหนักกระดาษที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณแป้งและผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบลงไป ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าช่วงน้ำหนักและช่วงความหนาดังกล่าวถือเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นถุงหรือแผ่นปะหน้า สำหรับกล่องกระดาษลูกฟูกสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ต่อไปได้

สูตร C5 ซึ่งเป็นสูตรที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์จำนวนมากที่สุด ถึงแม้ว่าจะมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่มาก แต่พบการกระจายตัวของผงถ่านกัมมันต์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตร C2 และ C3 สอดคล้องกับในช่วงที่ทำการเคลือบพบว่าสูตร C5 สามารถเคลือบได้ง่ายไหลลื่นได้ดีมากเมื่อเทียบกับสูตรอื่น จึงเลือกสูตร C5 มาทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตอนที่ 5 ศึกษาสมบัติในการชะลอการสุกของกล้วยหอมของกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วและผงถ่านกัมมันต์

การบรรจุกล้วยพร้อมกับกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ขนาดมีแนวโน้มที่จะมี ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการบรรจุกล้วยในกล่องกระดาษลูกฟูกธรรมดา และการบรรจุกล้วยพร้อมสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า จึงช่วยชะลอการสุกของกล้วยได้ถึงนาน 12 วัน จากกล้วยปกติที่จะสุกภายใน 3 วัน

กล้วยหอมที่บรรจุในกล่องลูกฟูกธรรมดา สามารถคงความแน่นเนื้อในผลกล้วยได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการบรรจุรูปแบบอื่น

การใช้กระดาษดูดซับเอทิลีนจากผงถ่านกัมมันต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้หรือค่าความหวานของกล้วยสุก

การบรรจุกล้วยในกล่องพร้อมกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ขนาด มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกัน ตามด้วยการบรรจุกล้วยพร้อมสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและการบรรจุกล้วยในกล่องลูกฟูกธรรมดาตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อกระดาษจากฟางข้าวและเยื่อจากกระดาษใช้แล้ว

ตอนที่ 1.1 ศึกษาวิธีเตรียมเส้นใยฟางข้าวด้วยวิธีโซดา

วิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยฟางข้าวในงานวิจัยนี้คือ นำฟางข้าวมาตัดให้มีขนาด 3–5 เซ็นติเมตร แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2% (w/w) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่าวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน และใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่ยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินออกจากฟางข้าวได้

ตอนที่ 1.2 ศึกษาวิธีเตรียมเยื่อกระดาษใช้แล้วด้วยวิธีหมักน้ำ

วิธีที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยฟางข้าวในงานวิจัยนี้คือ นำกระดาษที่เหลือจากกระบวนการตัดเจียนขอบตำราเรียน มสธ. นำมาแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ตีเยื่อด้วยเครื่องตีเยื่อความเร็วรอบ 1,792 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที

จากผลการทดลองพบว่าวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ประหยัดเวลา และการเลือกใช้รอบในการตีเส้นใยที่ไม่สูงมากเป็นการรักษาความยาวของเส้นใยได้ดี

ตอนที่ 2 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยกระดาษใช้แล้วในการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีน

ตอนที่ 2.1 ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยกระดาษใช้แล้ว

ได้นำเส้นใยฟางข้าวที่ปรับสภาพแล้วและเส้นใยใช้แล้วมาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่กำหนด โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างเส้นใยฟางข้าวต่อเส้นใยกระดาษใช้แล้วที่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ตามลำดับ เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่ากระดาษมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นรูพรุน กระจายอยู่ทั่วผิวกระดาษ

จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่มีเส้นใยฟางข้าวในปริมาณมากจะได้กระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงสูงกว่า แต่จะมีรูพรุนมาก ดังนั้นการเลือกสูตร A2 ฟาง:กระดาษ เป็น 75:25 จึงมีความเหมาะสมเพราะจะได้กระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงที่ดี และมีรูพรุนที่ผิวน้อย

ตอนที่ 2.2 ศึกษาสมบัติของกระดาษจากเส้นใยฟางข้าวที่ปรับสภาพและเส้นใยกระดาษใช้แล้ว

กระดาษจากเส้นใยฟางข้าวและเส้นใยใช้แล้วที่ได้มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 90–96 กรัมต่อตารางเมตร มีความหนาอยู่ในช่วง 35–40 ไมครอน มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.29–2.45 กรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้

ค่าความต้านทานแรงดึง ค่า TEA ค่าร้อยละการยืดตัว ดัชนีการดึงยืด และค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจากเส้นใยฟางข้าวผสมเส้นใยกระดาษใช้แล้ว พบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีประมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยฟางข้าวเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่และมีความยาวมากกว่าเส้นใยกระดาษใช้แล้ว ดังนั้นกระดาษที่มีปริมาณเส้นใยฟางข้าวมากกว่าจึงมีความแข็งแรงมากกว่า เนื่องจากถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยฟางข้าว โดยกระดาษสูตร A2 มีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ ค่าน้ำหนักกระดาษเท่ากับ 90.10 g/m^3 ความหนา 35.53 ไมครอน ค่าความต้านทานแรงดึง 3.61 kN/m^2 ค่า TEA 25.79 /m^2 ค่าดัชนีการดึงยืด 23.70 J/m^2 ค่าร้อยละการยืดตัว 1.58% ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ 182 kPa ค่าการดูดซึมน้ำ 336 g/m^2

เมื่อพิจารณาจากสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ จึงเลือกกระดาษสูตร A2 อัตราส่วนระหว่างเส้นใยฟางข้าวต่อเส้นใยกระดาษใช้แล้วที่ 75:25 สูตร A2 ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้กระดาษที่มีความแข็งแรงและการดึงยืดที่เหมาะสม และสามารถขึ้นรูปได้ง่ายเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วเพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษ

ตอนที่ 3.1 การเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปรลงบนกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว

นำกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว สูตร A2 มาปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษให้ดียิ่งขึ้นด้วยการเคลือบผิวด้วยแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยควบคุมความหนาของชั้นเคลือบด้วยบาร์โค้ด กำหนดเป็นชุดทดลอง B1–B5 โดยปรับเปลี่ยนความหนาชั้นเคลือบที่ 0, 50, 60, 80 และ 100 ไมครอน ตามลำดับ

สมบัติของกระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปร พบว่า กระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปร มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 90–104 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้นแป้งที่เคลือบลงไป กระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปร มีความหนาอยู่ในช่วง 35–46 ไมครอน สอดคล้องกับบาร์โค้ดที่ใช้เคลือบ และกระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.29–2.45 กรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

ตอนที่ 3.2 การศึกษาสมบัติของกระดาษเคลือบแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

ค่าความต้านทานแรงดึง ค่า TEA ค่าร้อยละการยืดตัว ดัชนีการดึงยืด และค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของแป้งที่ใช้เคลือบ โดยเพิ่มสูงสุดที่สูตร B3 ที่ความหนา 60 ไมครอน ใช้บาร์โค้ดเบอร์ 6 หลังจากนั้น แม้จะใช้บาร์โค้ดที่ให้ความหนาชั้นเคลือบมากขึ้น แต่ค่าการต้านทางแรงดึงจะไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณแป้งที่มากขึ้น และการเลือกใช้แป้งที่มีประจุ อาจทำให้แป้งเกิดการเกาะกลุ่มกันมากกว่าที่จะไปเคลือบบนผิวกระดาษ ซึ่งการกระจายตัวของชั้นเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอจึงเป็นเหตุให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงนั่นเอง

โดยกระดาษสูตร B3 มีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ ค่าน้ำหนักกระดาษ 107 g/m^3 ความหนา 46.87 ไมครอน ค่าความต้านทานแรงดึง 4.00 kN/m^2 ค่า TEA 48.74 /m^2 ร้อยละการยืดตัว 2.35% ค่าดัชนีการดึงยืด 38.02 J/m^2 ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ 179 kPa ค่าการดูดซึมน้ำ 308 g/m^2

เมื่อพิจารณาจากสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ จึงเลือกสูตร B3 ที่ความหนา 60 ไมครอน ใช้บาร์โค้ดเบอร์ 6 ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้กระดาษที่มีความแข็งแรงและการดึงยืดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ

ตอนที่ 4 ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่เคลือบลงบนผิวกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว

ตอนที่ 4.1 การศึกษาสมบัติของผงถ่านกัมมันต์

ผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 1,006 mg/g มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.7% ปริมาณสารระเหยเท่ากับ 2.5% ค่าคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 91.3% สัณฐานวิทยาของเส้นใยกระดาษใช้แล้วจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผงถ่านกัมมันต์มีทั้งที่เป็นชิ้น รูปทรงไม่สมมาตร และมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก รูพรุนมีขนาด 1–3 ไมครอน การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบการดูดกลืนรังสีช่วงประมาณ 1,560 cm^{-1} แสดงถึงพันธะ C = C ในหมู่แอโรมาติก พบการดูดกลืนรังสีช่วงประมาณ 2800–2900 cm^{-1} เป็นการสั่นของกลุ่ม C – H, C = H Stretching ของหมู่ Aromatic Methoxyl Groups

ตอนที่ 4.2 การศึกษาปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่เติมลงในกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้ว

จากผลการทดลองพบว่า สามารถเคลือบผงถ่านกัมมันต์สูงสุดได้ที่ร้อยละ 30 ถ้ามากกว่านั้นจะผสมผงถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายแป้งได้ยาก สารละลายจะมีความหนืดสูงมาก เคลือบคลุมพื้นผิวได้ไม่สม่ำเสมอ และพบว่าเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่มากขึ้น กระดาษที่ได้จะมีสีเข้มขึ้นไปตามลำดับ อีกทั้งการหลุดลอกของผงถ่านกัมมันต์จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

ตอนที่ 4.3 ศึกษาสมบัติของกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วเคลือบผงถ่านกัมมันต์

ค่าความต้านทานแรงดึงและค่า TEA ของกระดาษจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้เคลือบผิว ค่าร้อยละการยืดตัวและดัชนีการดึงยืดของกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ จะมีแนวโน้มลดลง คล้ายคลึงกับค่าความต้านทานแรงดึงและค่า TEA

ความหนาที่เพิ่มขึ้นของชั้นผงถ่านกัมมันต์ ส่งผลกระทบน้อยมากต่อค่าความต้านทานการดันทะลุซึ่งทำใช้ชิ้นงานดังกล่าวมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการใช้งานในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ เมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่านกัมมันต์จะทำให้กระดาษมีค่าปริมาณการดูดซึมน้ำที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผงถ่านมีส่วนที่เป็นรูพรุน ซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้

เมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์มากขึ้นจะทำให้ค่า % การหลุดลอกของผงถ่านเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนที่เติมลงไป จากนั้นค่า % การหลุดลอกจะคงที่ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ 20–30% (สูตร C4 และ C5) แสดงให้เห็นว่าสำหรับการประยุกต์ใช้ในรูปแบบกระดาษดูดซับก๊าซเอทิลีนสามารถทำได้โดยค่าการหลุดลอกอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

พบว่าค่าความหนาและน้ำหนักกระดาษที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณแป้งและผงถ่านกัมมันต์ที่เคลือบลงไป ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าช่วงน้ำหนักและช่วงความหนาดังกล่าวถือเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นถุงหรือแผ่นปะหน้าสำหรับกล่องกระดาษลูกฟูกสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ต่อไปได้

จากผลการทดลองได้เลือกกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ สูตร C5 ซึ่งมีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ ค่าน้ำหนักกระดาษ 141 g/m^3 หนา 46.20 ไมครอน มีค่าความต้านทานแรงดึง 2.76 kN/m^2 ค่า TEA 26.66 /m^2 ค่าร้อยละการยืดตัว 1.12 % ค่าดัชนีการดึงยืด 27.74 J/m^2 ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ 178 kPa ค่าการดูดซึมน้ำ 450.20 g/m^2

กระดาษสูตร C5 ซึ่งเป็นสูตรที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์จำนวนมากที่สุดที่ ที่ 30% แม้จะมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่มาก แต่กับพบการกระจายตัวของผงถ่านกัมมันต์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตร C2 และ C3 สอดคล้องกับในช่วงที่ทำการเคลือบพบว่าสูตร C5 สามารถเคลือบได้ง่ายไหลลื่นได้ดีมากเมื่อเทียบกับสูตรอื่น จึงเลือกสูตร C5 มาทดลองในขั้นตอนต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญญา ไกรวุฒินันท์ และคณะ, (2563) และจิตตา สาตร์เพ็ชร์ และคณะ, (2020) ที่เลือกใช้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่ 30% ในการผลิตกระดาษดูดซับเอธิลีน

ตอนที่ 5 ศึกษาสมบัติในการชะลอการสุกของกล้วยหอมของกระดาษฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วและผงถ่านกัมมันต์

การบรรจุกล้วยพร้อมกับกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ขนาดมีแนวโน้มที่จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการบรรจุกล้วยในกล่องกระดาษลูกฟูกธรรมดา และการบรรจุกล้วยพร้อมสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า จึงช่วยชะลอการสุขของกล้วยได้นานถึง 12 วัน จากกล้วยปกติที่จะสุกภายใน 3 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิตตา สาตร์เพ็ชร์และคณะ (2020) ที่ใช้กระดาษดูดซับเอทิลีนจากกาบกล้วยที่มีผงถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองดูดซับเอทิลีน ได้ถึง 12 วันเช่นกัน

กล้วยหอมที่บรรจุในกล่องลูกฟูกธรรมดา สามารถคงความแน่นเนื้อในผลกล้วยได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการบรรจุรูปแบบอื่น ในขณะที่ความแน่นเนื้อจะลดลงเรื่อย ๆเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิตตา สาตร์เพ็ชร์ และคณะ (2020)

การใช้กระดาษดูดซับเอทิลีนจากผงถ่านกัมมันต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้หรือค่าความหวานของกล้วยสุก

การบรรจุกล้วยในกล่องพร้อมกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ขนาด มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกัน ตามด้วยการบรรจุกล้วยพร้อมสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและการบรรจุกล้วยในกล่องลูกฟูกธรรมดาตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยครั้งต่อไปมีดังนี้

1. จากผลการวิจัยพบว่าผงถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุธรรมชาติ ที่ผลิตได้ภายในประเทศ และมีศักยภาพในการชะลอการสุกของกล้วยหอม จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการออกแบบรูปแบบการบรรจุผงถ่านกัมมันต์ลงในบรรจุภัณฑ์ เช่น ทำเป็นสติกเกอร์ติดภายในบรรจุภัณฑ์ ใส่ในรูปแบบซอง ใส่ในเนื้อบรรจุภัณฑ์ หรือการบรรจุในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้งานให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น
2. ควรหาแนวทางในการเพิ่มสัดส่วนของกระดาษใช้แล้วให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มการนำของเสียประเภทกระดาษมาใช้ซ้ำและเพื่อลดสมบัติในการดูดซึมน้ำลง
3. ควรขยายการประยุกต์ใช้งานกระดาษเคลือบผงถ่านกัมมันต์กับผลไม้ชนิดอื่น หรือผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น เช่น ใช้ยืดอายุทุเรียน มะเขือเทศ สตรอว์เบอรรี และผักชีต้นหอม เป็นต้น