สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง: ผลของการเติมซอร์บิทอล

Physical and Chemical Properties of Potato Starch Film: Effect of Adding Sorbitol

จิรวรรณ กัณฑ์ธรรม และ วิมลรัตน์ พจน์ไตรทิพย์*

Jirawan Kantham and Wimonrat Phottraithip*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

E-mail : wimonrat_pho@cmru.ac.th*

* Corresponding author

(Received: 28 March 2024, Revised: 13 July 2024, Accepted: 17 July 2024)

https://doi.org/10.57260/stc.2024.802

บทคัดย่อ

การผลิตแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งและศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดำเนินการโดยละลายแป้งมันฝรั่ง 10 กรัม และพลาสติกไซเซอร์ คือ ซอร์บิทอล 0, 1, 3, และ 5 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร กวนพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขึ้นรูปโดยการเทสารละลาย 100 กรัม ลงในแม่พิมพ์แผ่นอะคริลิคขนาด 12 x 8 ตารางเซนติเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนา ค่าความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดและค่าการละลายน้ำ ผลการทดลอง พบว่า ลักษณะของแผ่นฟิล์มมีลักษณะโปร่งใสโดยแผ่นฟิล์มที่มีการเติมพลาสติกไซเซอร์ มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ไม่เปราะ ขยำแล้วไม่แตก แผ่นฟิล์มที่ไม่ใส่พลาสติไซเซอร์มีความเปราะสูง ขยำแล้วแตก ไม่มีความยืดหยุ่น โดยแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ5 กรัม ส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีค่าความหนาเฉลี่ย 51.00, 60.30, 96.00 และ 74.30 ไมโครเมตร ตามลำดับ และมีค่าการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของซอร์บิทอลเพิ่มขึ้น มีค่าเฉลี่ย 8.44, 10.67, 18.92 และ 38.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าต้านทานแรงดึงลดลง เฉลี่ย 43.72, 31.67, 9.02 และ 4.61 Mpa ตามลำดับ ผลทดสอบค่าการละลายน้ำ พบว่า แผ่นฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น เมื่อเติมซอร์บิทอล มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำเท่ากับ 26.63, 46.08, 47.67 และ 78.88 ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แป้งมันฝรั่งผสมซอร์บิทอลสามารถผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพได้

คำสำคัญ: แผ่นฟิล์มชีวภาพ แป้งมันฝรั่ง พลาสติไซเซอร์ ซอร์บิทอล

Abstract

The purpose of this research was to study film production from potato starch and to study the physical and chemical properties of the potato starch film. Ten grams of potato starch and 0, 1, 3, and 5 g of sorbitol were dissolved in 200 ml of distilled water, stirred, and heated at 80 °C for 2 hrs. To form starch film, 100 grams of the starch solutions were poured into a mold of acrylic sheet sized 12 x 8 squared centimeters and dried at 50 °C for 3 hrs. The films were then tested for physical and chemical properties, e.g. texture, thickness, tensile strength, stretch percentage, and water solubility. The results showed that the appearances of the films were clear and translucent, with the addition of plasticizer, and sorbitol, increased flexibility and not easy to brittle, crumple, or break. The formulas without plasticizers were brittle, crumpled, cracked, and not flexible from potato starch with a sorbitol ratio of 0, 1, 3, and 5 grams, the film had an average thickness of 51.00, 60.30, 96.00 and 74.30 micrometer, respectively and an increase in elasticity. When the amount of sorbitol increased. The average values were 8.44, 10.67, 18.92 and 38.26 percent, respectively, but the tensile strength decreased, with average values of 43.72, 31.67, 9.02 and 4.61 Mpa, respectively. The water solubility test results were found the film was more soluble in water when sorbitol was added. The average water solubility percentages were 26.63, 46.08, 47.67 and78.88 respectively. The experimental results showed that potato starch mixed with sorbitol could produce biofilm.

Keywords: Biofilm, Potato starch, Plasticizer, Sorbitol

บทนำ

พลาสติก เป็นสารที่สามารถทำให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้ด้วยความร้อน พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ มวลโมเลกุลมาก มักใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ มีสมบัติ คือ มีความเสถียร สลายตัวยาก มีมวลน้อย น้ำหนักเบา เป็นฉนวนความร้อนและไฟฟ้าที่ดี ส่วนมากอ่อนตัวและหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนจึงเปลี่ยนเป็นรูปต่างๆ ได้ตามความต้องการ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553) ในปัจจุบันมีการใช้ถุงพลาสติกจำนวนมาก แต่การกำจัดขยะพลาสติกที่ไม่ถูกวิธีส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก รายงานจากกรีนพีซระบุว่า ทั่วโลกผลิตขยะพลาสติกประมาณ 6,300 ล้านตันต่อปี ในจำนวนนี้ถูกนำไปรีไซเคิลราว 9% นำเข้าโรงงานเผาขยะ 12% และยังหลงเหลือปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 79% ถ้าแนวโน้มการผลิตและการจัดการขยะยังดำเนินต่อไปแบบนี้ คาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2593 ขยะพลาสติกประมาณ 12,000 ล้านตันจะยังคงหลงเหลืออยู่ในสิ่งแวดล้อม เมื่อเวลาผ่านไปนานเข้าก็จะแตกตัวออกมาเป็นพลาสติกขนาดเล็ก หรือไมโครพลาสติกที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (พิชามญชุ์ รักรอด, 2562)

เมื่อปัญหาจากขยะพลาสติกส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ผู้คนจึงให้ความสำคัญกับการดูแลสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยมีความพยายามลดการใช้ถุงพลาสติก การนำถุงพลาสติกมาใช้ซ้ำหรือการเลือกใช้พลาสติกชีวภาพ ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากเส้นใยพืช เช่น อ้อยหรือข้าวโพด หรือพืชจำพวกแป้ง พลาสติกเหล่านี้มีคุณสมบัติในการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable) เป็นพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยสภาวะแวดล้อม เช่น แสงแดด ออกซิเจน ความชื้น หรือจุลินทรีย์ ทำให้ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายน้อยกว่าพลาสติกทั่วไป (รวิศ หาญอุตสาหะ, 2563) อย่างไรก็ตาม พลาสติกชีวภาพมีข้อด้อยคือ มีความต้านทานแรงกลต่ำ เนื่องจากพลาสติกเหล่านี้สามารถดูดซับน้ำได้มาก ทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่าย การปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าวทำได้ด้วยการเติมสารที่เรียกว่า พลาสติกไซเซอร์ลงไป เพื่อลดความเปราะบางภายในโมเลกุล โดยธรรมชาติของกลีเซอรอลและซอร์บิทอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ มีลักษณะชอบน้ำ กลีเซอรอลมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าซอร์บิทอล ดังนั้นถ้าเกิดพลาสติไซเซอร์ผสมกับแป้ง - PVA จะเพิ่มความสามารถในการขยายตัวในน้ำได้ (Lusiana et al., 2019)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจใช้แป้งมันฝรั่งมาทดลองทำเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ เนื่องจากแป้งจากส่วนหัวของพืชมีสมบัติในการพองตัวของเม็ดแป้งดีที่สุด เพราะจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอและมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟสที่ทำให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้า ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งจากธัญพืช ได้แก่ แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี โครงสร้างร่างแหภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมาก ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อย ส่วนแป้งจากรากหรือกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเจลาทิไนซ์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช ทำให้มีการพองตัวและการละลายที่ดี (สุทธินี สีสังข์, 2563) ช่วยลดระยะเวลาในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม จากการศึกษาของ (ภาวิณี เทียมดี และ จิราพร เรืองรุ่ง, 2561) พบว่า การกลีเซอรอลสามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น การละลายน้ำให้กับแผ่นฟิล์ม และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลส่งผลให้ให้ค่าต้านทานแรงดึง และค่าต้านทานแรงเจาะลดลง งานวิจัยนี้ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพเพื่อโอกาสในการนำไปใช้ประโยชน์และลดการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่เติมพลาสติไซเซอร์
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมซอร์บิทอลต่อคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม

ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

1.1 แป้งมันฝรั่ง (Potato starch) ยี่ห้อ แม็กกาแรต (Mcgarrett)

1.2 ซอร์บิทอล (Sorbitol) ยี่ห้อ Kemaus

1.3 น้ำกลั่น (Distilled water)

1.4 แม่พิมพ์แผ่นอะคริลิค (สิ่งประดิษฐ์) ขนาด 12 x 8 ตารางเซนติเมตร

1.5 บีกเกอร์ (Beaker) ยี่ห้อ PYREX

1.6 เครื่องกวนสาร (Hotplate) ยี่ห้อ IKA WORKS USA CERAMAG Midi

1.7 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ Mettler toledo AG204

1.8 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Precision balance)

1.9 แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

1.10 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert UF 450

1.11 เครื่องทดสอบแรงดึงแรงกดวัสดุ (Tensile strength tester)

1.12 เครื่องไมโครมิเตอร์แบบเข็ม (Indicating micrometer)

1.13 กรวยกรองแก้ว (Funnel glass)

1.14 กระดาษกรอง Whatman No.4

2. การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง

เตรียมฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยละลายแป้งมันฝรั่ง 10 กรัม และซอร์บิทอล 0, 1, 3, 5 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ทำการกวน พร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขึ้นรูปโดยการเทสารละลายหนัก 100 กรัม ลงในแม่พิมพ์แผ่นอะคริลิคขนาด 12 x 8 ตารางเซนติเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากแม่พิมพ์

3. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม

3.1 ลักษณะของแผ่นฟิล์มชีวภาพ สังเกตลักษณะภายนอกของแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยประสาทสัมผัสจากการสังเกตสี ผิวสัมผัส ความเปราะ ความยืดหยุ่นและความโปร่งแสง

3.2 วัดค่าความหนา (Thickness) ของแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยเครื่องไมโครมิเตอร์แบบเข็ม (Indicating micrometer) โดยสุ่มตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มขนาด 10 × 40 ตารางมิลลิเมตร 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3 ค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) โดยสุ่มตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มขนาด 10 × 40 ตารางมิลลิเมตร 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4 ค่าการละลายน้ำ ทดสอบโดยชั่งน้ำหนักกระดาษกรองเปล่า (a_1) ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 4 × 4 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์ม (W_1) แล้วนำไปละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองและตะกอนที่เหลือ (a_2) คำนวณเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม ดังนี้

$$\% \text{ Film solubility} = \frac{W1-(a2-a1)}{w1} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักแผ่นฟิล์ม

a_1 = น้ำหนักกระดาษกรองเปล่า

a_2 = น้ำหนักกระดาษกรองและตะกอนที่เหลือ

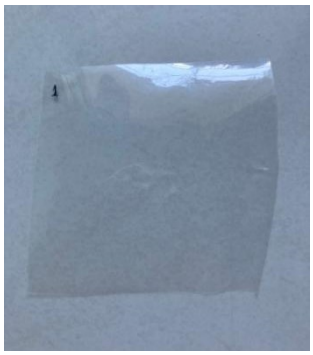
4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22 และวิเคราะห์ความแตกต่างแบบ One way anova เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

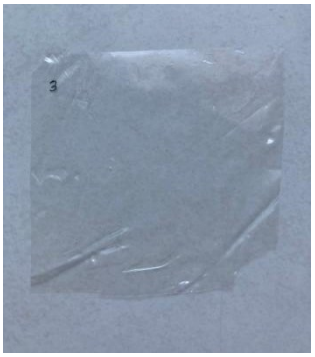
1. ลักษณะของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

การศึกษาลักษณะของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง โดยการสังเกตลักษณะด้วยประสาทสัมผัส พบว่า แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่ไม่มีการเติมซอร์บิทอล มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบลื่นเป็นมันวาว มีความเปราะ แตกหักง่ายและไม่สามารถยืดได้ ในขณะที่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 กรัม มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบลื่นเป็นมันวาว มีความเปราะและยืดหยุ่นได้เล็กน้อย แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 3 กรัม มีลักษณะโปร่งใส ผิวสัมผัสเรียบ เหนียวเล็กน้อย ไม่มีความเปราะ และยืดหยุ่นได้ดี และแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 5 กรัม มีลักษณะโปร่งใส ผิวสัมผัสเรียบเหนียวมาก ไม่สามารถซ้อนทับแล้วแยกออกจากกันได้ ไม่มีความเปราะและยืดหยุ่นได้มาก (ตารางที่ 1) จึงสรุปได้ว่า ซอร์บิทอลมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ความเปราะลดลง



รูปที่ 1
สูตรที่ 1 ซอร์บิทอล 0 กรัม

รูปที่ 2
สูตรที่ 2 ซอร์บิทอล 1 กรัม



รูปที่ 3
สูตรที่ 3 ซอร์บิทอล 3 กรัม

รูปที่ 4
สูตรที่ 4 ซอร์บิทอล 5 กรัม

(ที่มา : คณะวิจัย, 2567)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งทดสอบโดยประสาทสัมผัส

ส่วนผสม	ลักษณะความโปร่งแสง	ผิวสัมผัส	ความแข็งแรง	ความยืดหยุ่น
สูตรที่ 1 ชุดควบคุม	โปร่งใส	ลื่นมันวาว	เปราะมาก	ไม่ยืดหยุ่น
สูตรที่ 2 ซอร์บิทอล 1 กรัม	โปร่งใส	ลื่นมันวาว	เปราะเล็กน้อย	ยืดหยุ่น เล็กน้อย
สูตรที่ 3 ซอร์บิทอล 3 กรัม	โปร่งใส	เหนียวเล็กน้อย	ไม่เปราะ	ยืดหยุ่น
สูตรที่ 4 ซอร์บิทอล 5 กรัม	โปร่งใส	เหนียวมาก	ไม่เปราะ	ยืดหยุ่นสูง

2. ความหนา (Thickness)

จากการวัดค่าความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์แบบเข็ม (Indicating Micrometer) สุ่มตัวอย่าง 3 จุด ขนาดแผ่นฟิล์ม 10 × 40 ตารางมิลลิเมตร หาค่าเฉลี่ยความหนา พบว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งทั้ง 4 สูตร มีค่าความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.034$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยความหนา 51.00, 60.30, 96.00 และ 74.30 ไมโครเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 3 กรัม มีความหนามากที่สุด รองลงมาแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 5 กรัม แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 กรัม และ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่ไม่ผสมอัตราส่วนของซอร์บิทอล มีความบางมากที่สุด กล่าวคือ ซอร์บิทอล มีผลทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง

ส่วนผสม	ความหนาเฉลี่ย (mm) ± SD
สูตรที่ 1 ชุดควบคุม	0.0510^{b}±0.00000
สูตรที่ 2 ซอร์บิทอล 1 กรัม	0.0603^{b}±0.00115
สูตรที่ 3 ซอร์บิทอล 3 กรัม	0.0960^{a}±0.03032
สูตรที่ 4 ซอร์บิทอล 5 กรัม	0.0743^{ab}±0.00577

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .034$)

3. การต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากการศึกษาค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) โดยใช้ขนาดตัวอย่างแผ่นฟิล์ม 10 × 40 ตารางมิลลิเมตร ได้ผลการทดสอบดังนี้

3.1 ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์ม

จากการทดลองพบว่า ค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่งทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .000$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 3) โดยแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง 43.72, 31.67, 9.02 และ4.61 Mpa ตามลำดับ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่ไม่ผสมซอร์บิทอลต้องใช้แรงในการดึงมากที่สุด รองลงมาเป็นแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 กรัม 3 กรัม และ 5 กรัม ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ซอร์บิทอลมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนไป

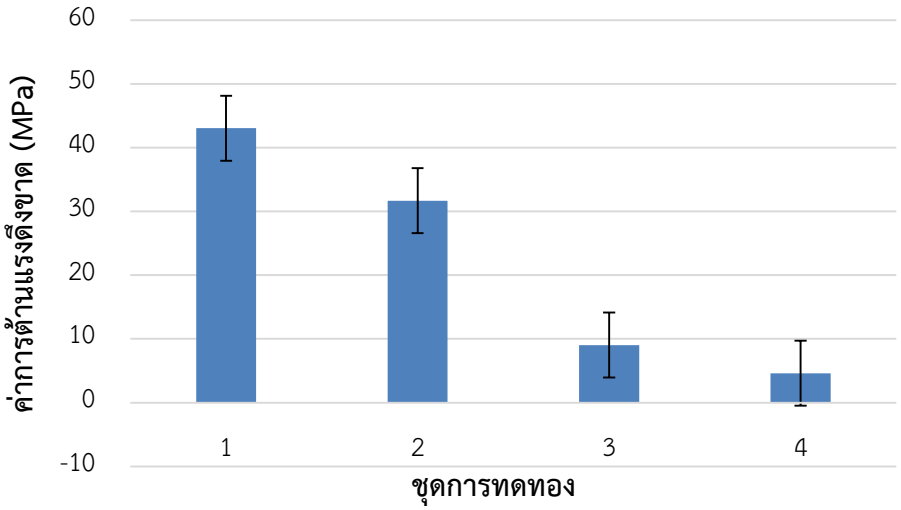
3.2 ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม

การศึกษาค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง ทำให้ทราบเปอร์เซนต์ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นฟิล์มทั้ง 4 สูตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .001$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 3) โดยพบว่า แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ระยะยืด ณ จุดขาด 8.44, 10.67, 18.92 และ38.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ซอลบิทอลช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ระยะยืด ณ จุดขาดให้แก่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง ทั้งนี้ การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งจะเกี่ยวข้องกับแรงสองชนิด ได้แก่ แรงโคฮีชัน (Cohesion) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเองภายในแผ่นฟิล์ม และแรงแอดฮีชัน (Adhesion) ที่เป็นแรงดึงดูดกันระหว่างฟิล์มกับสารอื่นๆ แรงโคฮีชันระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันจะทำให้ฟิล์มเปราะ จึงมีผลต่อสมบัติโดยรวมของฟิล์ม การแก้ปัญหานี้โดยการเติมพลาสติไซเซอร์เพื่อลดแรงระหว่างโมเลกุลและเป็นการเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายพอลิเมอร์ จึงทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่น (Flexibility) มีความยืดตัว (Elongation) และความเหนียว (Toughness) (Lusiana et al., 2019, p.240-245)

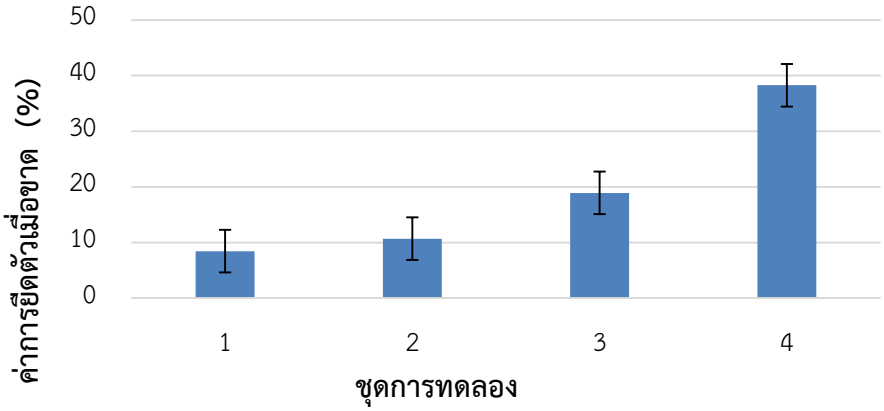
ตารางที่ 3 ค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

ส่วนผสม	Tensile tester (Mpa)	Elongation at break (%)
สูตรที่ 1 ชุดควบคุม	43.7158^{a}±10.60884	8.4444^{b}±4.25864
สูตรที่ 2 ซอร์บิทอล 1 กรัม	31.6676^{b}±5.31519	10.6736^{b}±3.96886
สูตรที่ 3 ซอร์บิทอล 3 กรัม	9.0243^{c}±2.12930	18.9236^{b}±8.35701
สูตรที่ 4 ซอร์บิทอล 5 กรัม	4.6074^{c}±0.40160	38.2639^{a}±6.01937

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .000$, $p \leq .001$)



รูปที่ 5 ค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ (ที่มา : คณะวิจัย, 2567)



รูปที่ 6 ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ (ที่มา : คณะวิจัย, 2567)

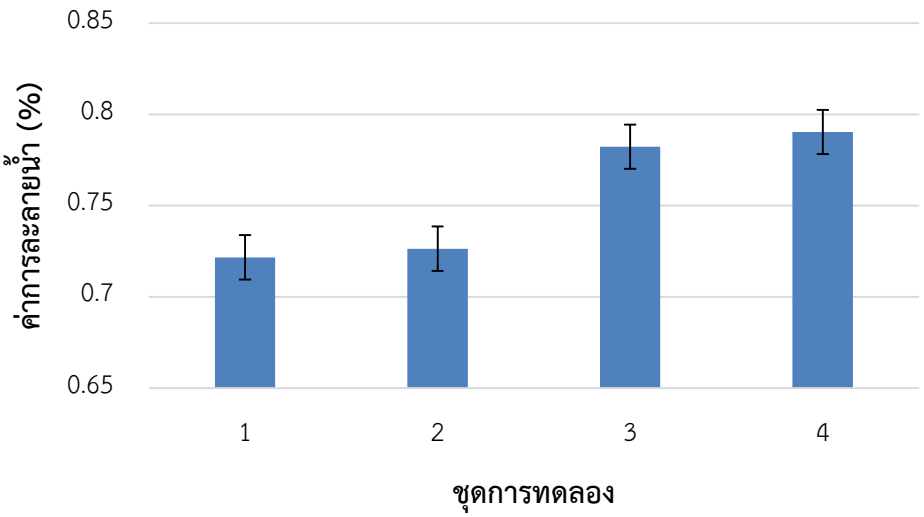
4. การละลายน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

ผลการศึกษาค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง พบว่า แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งทั้ง 4 สูตร มีค่าการละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .001$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4) กล่าวคือ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำเท่ากับ 26.63, 46.08, 47.67 และ78.88 ตามลำดับ นั่นคือ ซอร์บิทอลส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มมากขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มละลายน้ำได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

ส่วนผสม	การละลายน้ำ (%)
สูตรที่ 1 ชุดควบคุม	26.6276^{c}±12.56260
สูตรที่ 2 ซอร์บิทอล 1 กรัม	46.0752^{b}±4.41221
สูตรที่ 3 ซอร์บิทอล 3 กรัม	47.6691^{b}±10.14452
สูตรที่ 4 ซอร์บิทอล 5 กรัม	78.8752^{a}±3.93175

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในสดมภ์ หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .001$)



รูปที่ 7 ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพ (ที่มา : คณะวิจัย, 2567)

การอภิปรายผล

แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่ไม่มีการเติมซอร์บิทอล มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบลื่นเป็นมันวาว มีความเปราะ แตกหักง่ายและไม่สามารถยืดได้ ในขณะที่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 กรัม มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบลื่นเป็นมันวาว มีความเปราะและยืดหยุ่นได้เล็กน้อย แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 3 กรัม มีลักษณะโปร่งใส ผิวสัมผัสเรียบ เหนียวเล็กน้อย ไม่มีความเปราะ และยืดหยุ่นได้ดี และแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 5 กรัม มีลักษณะโปร่งใส ผิวสัมผัสเรียบ

เหนียวมาก ไม่สามารถซ้อนทับแล้วแยกออกจากกันได้ ไม่มีความเปราะและยืดหยุ่นได้มาก (ตารางที่ 1) จึงสรุปได้ว่า ซอร์บิทอลมีผลทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ความเปราะลดลง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ (วิษณุ เกตุรู้และคณะ, 2561, 16-26) ที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภคจากเปลือกข้าวโพดเหลือ 3 ชนิด คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ข้าวโพดไร่) ข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดหวาน โดยใช้พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิด คือ ซอร์บิทอล กลีเซอรอลและไกลคอล พบว่า ฟิล์มจากเปลือกข้าวโพดที่ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์มีลักษณะแข็งกรอบและแตกง่าย ในขณะที่ฟิล์มจากเปลือกข้าวโพดที่ใช้กลีเซอรอลและไกลคอลจะมีความยืดหยุ่นมากกว่าและพลาสติกไซเซอร์ทุกชนิดมีผลต่อลักษณะ การลอกออก สีและการฉีกขาดของแผ่นฟิล์ม

จากการวัดค่าความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์แบบเข็ม (Indicating micrometer) สุ่มตัวอย่าง 3 จุด ขนาดแผ่นฟิล์ม 10 × 40 ตารางมิลลิเมตร หาค่าเฉลี่ยความหนา พบว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งทั้ง 4 สูตร มีค่าความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.034$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยความหนา 51.00, 60.30, 96.00 และ74.30 ไมโครเมตร ตามลำดับแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 3 กรัม มีความหนามากที่สุด รองลงมาแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 5 กรัม แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 กรัม และ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่ไม่ผสมอัตราส่วนของซอร์บิทอล มีความบางมากที่สุด กล่าวคือ ซอร์บิทอล มีผลทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ภาวิณี เทียมดี และกนกวรรณ พุ่มนารินทร์, 2563, 517-527) ที่ศึกษาผลของการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์มเคลือบผิวจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาติน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าและพบว่าความหนาของแผ่นฟิล์มทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซอร์บิทอลที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการทดลองครั้งนี้ แต่เมื่อสังเกตค่าความหนาของแผ่นฟิล์มในสูตรที่ 4 ที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 5 กรัม แต่มีความหนาน้อยกว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 3 กรัม เกิดจากการเติมซอร์บิทอลมากทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่นสูง เมื่อดึงออกจากแม่พิมพ์อะคริลิคทำให้เกิดการยืดตัว ความหนาของแผ่นฟิล์มจึงลดลง ส่งผลให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน

จากการศึกษาค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) โดยใช้ขนาดตัวอย่างแผ่นฟิล์ม 10 × 40 ตารางมิลลิเมตร ได้ผลการทดสอบดังนี้ ค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่งทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.000$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง 43.72, 31.67, 9.02 และ4.61 Mpa ตามลำดับ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่ไม่ผสมซอร์บิทอลต้องใช้แรงในการดึงมากที่สุด รองลงมาเป็นแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 กรัม 3 กรัม และ 5 กรัม ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ซอร์บิทอลมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนไป กล่าวคือเมื่อเติมซอร์บิทอลในปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ (รัตนา จินดาพรรณ และ วิไลลักษณ์ ไฝเพชร, 2549, 36-44) ทั้งนี้ เนื่องจากการเติมพลาสติไซ

เซอร์จำพวก พอลิออล (Polyol) สามารถเข้าจับกับ Hydrophilic sites บนโมเลกุลของโปรตีนได้ง่าย ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจน (Internal hydrogen bonding) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนในแผ่นฟิล์มลดลง ทำให้ฟิล์มมีค่าการต้านแรงดึงขาดลดลง เกิดการเพิ่มปริมาตรอิสระ และเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายโซ่ของพอลิเมอร์ ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง

การศึกษาค่าการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันฝรั่ง ทำให้ทราบเปอร์เซนต์ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นฟิล์มทั้ง 4 สูตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .001$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่า แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ระยะยืด ณ จุดขาด 8.44, 10.67, 18.92 และ38.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ซอลบิทอลช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ระยะยืด ณ จุดขาดให้แก่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง ทั้งนี้ การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งจะเกี่ยวข้องกับแรงสองชนิด ได้แก่ แรงโคฮีชัน (Cohesion) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเองภายในแผ่นฟิล์ม และแรงแอดฮีชัน (Adhesion) ที่เป็นแรงดึงดูดกันระหว่างฟิล์มกับสารอื่นๆ แรงโคฮีชันระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันจะทำให้ฟิล์มเปราะ จึงมีผลต่อสมบัติโดยรวมของฟิล์ม การแก้ปัญหานี้โดยการเติมพลาสติไซเซอร์เพื่อลดแรงระหว่างโมเลกุลและเป็นการเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายพอลิเมอร์ จึงทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่น (Flexibility) มีความยืดตัว (Elongation) และความเหนียว (Toughness) (Lusiana et al., 2019, p.240-245) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Catarina et al., 2012) ที่ผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากไคโตซานจากเปลือกกุ้งเหลือทิ้ง โดยใช้พลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล และซอร์บิทอล แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล พบว่า แผ่นฟิล์มที่ไม่มีส่วนผสมของพลาสติกไซเซอร์มีระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) มากกว่าสูตรที่มีพลาสติกไซเซอร์ 36% ในขณะที่ค่า Elongation น้อยกว่า และงานวิจัยของ (Lusiana et al., 2019, p.240-245) ที่ผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งสาคูที่มีส่วนผสมของพลาสติกไซเซอร์ก็ให้ผลการวิจัยในทำนองเดียวกัน

ผลการศึกษาค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง พบว่า แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งทั้ง 4 สูตร มีค่าการละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .001$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4) กล่าวคือ แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ 5 กรัม มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำเท่ากับ 26.63, 46.08, 47.67 และ 78.88 ตามลำดับ นั่นคือ ซอร์บิทอลส่งผลให้ค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มมากขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มละลายน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (รัตนา จินดาพรรณ, 2549, หน้า 36-44) ที่วิเคราะห์ว่าคุณสมบัติของซอร์บิทอลสามารถดูดความชื้นได้ สามารถเกิดปฏิกิริยาที่แข็งแรงกับน้ำได้ดี และรวมตัวเข้าไปในโครงร่างตาข่ายของพันธะไฮโดรเจน ได้ง่าย นอกจากนี้ จากการสังเกตเปรียบเทียบพบว่า แผ่นฟิล์มที่มีอัตราส่วนของพลาสติไซเซอร์มากจะมีความอ่อนตัวมากขึ้น ผิวสัมผัสเหนียวติดมือ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ (วิษณุ เกตุรู้ และคณะ, 2561, หน้า 16-26) ที่ศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มบริโภคจากเปลือกข้าวโพดพบว่า ไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะทำให้ฟิล์มละลายน้ำได้ดี ส่วนซอร์บิทอลจะมีค่าการละลายน้ำต่ำที่สุด

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่า แป้งมันฝรั่งสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ มีลักษณะโปร่งใสโดยแผ่นฟิล์มที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ คือ ซอร์บิทอลมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ไม่เปราะ ขยำแล้วไม่แตก แผ่นฟิล์มที่ไม่ใส่พลาสติไซเซอร์มีความเปราะสูง ขยำแล้วแตก ไม่มีความยืดหยุ่น โดยจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 0, 1, 3 และ5 กรัม ส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีค่าความหนาเฉลี่ย 51.00, 60.30, 96.00 และ74.30 ไมโครเมตร ตามลำดับ และค่าการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของซอร์บิทอลเพิ่มขึ้น มีค่าเฉลี่ย 8.44, 10.67, 18.92 และ38.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าต้านทานแรงดึงลดลง มีค่าเฉลี่ย 43.72, 31.67, 9.02 และ 4.61 Mpa ตามลำดับ ผลทดสอบค่าการละลายน้ำ พบว่า แผ่นฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้นเมื่อเติมซอร์บิทอลมี ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำเท่ากับ 26.63, 46.08, 47.67 และ78.88 ตามลำดับ จากการศึกษาคุณสมบัติทางทางกายภาพ และเคมี ของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่ง พบว่า ซอร์บิทอลช่วยให้แผ่นฟิล์มชีวภาพมีความหนาขึ้น ค่าการต้านแรงดึงขาดลดลง เพิ่มค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม และค่าการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มให้มากขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอลน้อยจะมีความเปราะสูง ไม่มีความยืดหยุ่น มีค่าการละลายน้ำน้อย อาจนำไปเป็นวัสดุของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้มีการดูดซับน้ำ เช่น แก้วพลาสติกใช้แล้วทิ้ง แต่เมื่อแช่น้ำแล้วสามารถกักเก็บความชื้นได้ดี มีลักษณะเป็นเจล อาจนำไปเป็นวัสดุของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกักเก็บความชื้น เช่น แผ่นมาร์คหน้า ส่วนแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอลมากจะมีค่าการละลายน้ำมากที่สุด อาจนำไปเป็นวัสดุของซองเครื่องปรุงรสที่สามารถละลายน้ำร้อนได้ ในขณะที่แผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งที่มีอัตราส่วนของซอร์บิทอล 1 และ 3 กรัม มีความเปราะน้อย และยืดหยุ่น ค่าการละลายน้ำอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง คือ สามารถละลายน้ำได้แต่ต้องใช้เวลาพอสมควร อาจเหมาะกับการนำไปเป็นวัสดุของถุงบรรจุเศษอาหารหรือขยะก่อนนำไปทิ้งในบ่อขยะเปียกตามครัวเรือน ที่สามารถทิ้งได้ทั้งถุงและสามารถย่อยสลายได้โดยใช้เวลาไม่นาน ทั้งนี้ ควรมีการทดสอบคุณสมบัติทางชีวภาพ เช่น ค่าการต้านทานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อายุการเก็บรักษา และเวลาในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ของแผ่นฟิล์มชีวภาพ เพื่อนำข้อมูลไปพิจารณาประยุกต์ใช้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

พิชามญชุ์ รักรอด. (2562). *กรีนพีซเรียกร้องกรมควบคุมมลพิษให้ประเมินผลและทบทวน Roadmap การจัดการขยะพลาสติก ระบุ Roadmap ไร้ทิศทางและสวนทางกับเป้าหมายลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ.* สืบค้นจาก http://www.gsei.or.th/activities/detail/593

พิชามญชุ์ รักรอด. (2562). *คนไทยใช้ถุงพลาสติกมากถึง 5,300 ตัน/วันเอกชนหนุนยกเลิกพลาสติกใช้ครั้งเดียว.* สืบค้นจาก https://www.bltbangkok.com/news/5074/

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *Sorbitol / ซอร์บิทอล.* สืบค้นจาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1212/sorbitol

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *Plastic / พลาสติก.* สืบค้นจาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1635/plastic

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *starch / สตาร์ช.* สืบค้นจาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0501/starch

ภาวิณี เทียมดี และ จิราพร เรืองรุ่ง. (2561). ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันเทศเพื่อผลิตถุงเพาะชำ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี*, *21*(3), 14-24. สืบค้นจาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/156476/159708

ภาวิณี เทียมดี และ กนกวรรณ พุ่มนารินทร์. (2563). ผลของปริมาณซอร์บิทอลต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์มเคลือบผิวจากแป้งมันสาคูเม็ดและเจลาตินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยน้ำว้า. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*, *43*(4), 517-527. สืบค้นจาก https://www.thaiscience.info/Journals/Article/KMIT/10997373.pdf

รวิศ หาญอุตสาหะ. (2563). *พลาสติกชีวภาพคืออะไร?.* สืบค้นจาก https://productsandsolutions.pttgcgroup.com/th/labels/bioplastics

รัตนา จินดาพรรณ และ วิไลลักษณ์ ไฝเพชร. (2549). อิทธิพลของพลาสติไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมันและความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, *2*(1), 36-44. สืบค้นจาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFTSU/article/view/38353

วิษณุ เกตุรู้, ผกากรอง เดิดขุนทด และ ธนาวรรณ สุขเกษม. (2561). ผลของชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอร์ต่อการขึ้นรูปและสมบัติของแผ่นฟิล์มบริโภคได้จากเปลือกข้าวโพด. *Rajabhat L. Sci. Humanit. Soc. Sci, 19*(1), 16-26. สืบค้นจาก https://journal.mcru.ac.th/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=32657

สุทธินี สีสังข์. (2563). *คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อ การแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ.* สืบค้นจาก https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200722153849_1_file.pdf

Catarina, M. D. M., Jaqueline, M. D. M., Jaqueline, P. D. S., Roberta, D. C. K., Guiherme, L. D., & Luiz, A. D. A. P. (2012). Evaluation of mechanical properties and water vapor permeability in chitosan biofilms using sorbitol and glycerol. *Macromolecular Symposia, 319*(1), 240-245. Retrived from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/masy.201100128

Lusiana, S. W., Putri, D., Nurazizah, I. Z., & Bahruddin, B. (2019). Bioplastic properties of Sago-PVA starch with glycerol and sorbitol plasticizers. *Journal of Physics: Conference Series, 1351*(1), 012102. Retrived from https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1351/1/012102