

อิทธิพลการเสื่อมสภาพด้วยแสงของฟิล์มบ่งชี้พีเอชที่ประกอบด้วยเจลาตินและ สารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

Effect of Light-Aging on Intelligent pH Indicator Film Composed of Gelatin and Extracted Anthocyanin from Butterfly Pea

ศุภณัฐ สละชีพ (Supanat Salacheep)* สุรเชษฐ์ เกตุแก้ว (Surachade Ketkaew)**

ดร.พรนภา เกษมศิริ (Dr.Pornnapa Kasemsiri)^{1***}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาฟิล์มเจลาตินอัจฉริยะที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพฟิล์มมีส่วนประกอบของสารสกัดแอนโทไซยานินร้อยละ 0 ถึง 30 โดยน้ำหนัก จากวิธีการสกัดด้วยอัลตราโซนิก ฟิล์มที่กระตุ้นด้วยพีเอชโดยเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นสีแดง จากการทดสอบเสถียรภาพของแอนโทไซยานินโดยกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน สีของฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของแอนโทไซยานิน โดยมีการลดลงของปริมาณสีแอนโทไซยานินอยู่ในช่วงร้อยละ 1.21 – 3.92 ของฟิล์มที่มีปริมาณแอนโทไซยานินร้อยละ 0 ถึง 30 โดยน้ำหนัก การทดสอบความต้านทานแรงดึงลดลงภายหลังการกระตุ้นด้วยแสง การเติมสารสกัดแอนโทไซยานินมีฤทธิ์เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลให้เพิ่มเสถียรภาพของสมบัติทางกล จากผลดังกล่าวมา ฟิล์มที่ได้เป็นฟิล์มบ่งชี้พีเอชที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

ABSTRACT

The aim of this work was to study properties of biodegradable based gelatin gilm containing extracted anthocyanin from butterfly pea. The films incorporated with 0-30 wt% anthocyanin were prepared using ultrasonic extraction. The films activated by pH showed the change of color from blue to red. The stability over time of films was observed after 15 days of continuous light exposure. The color of films significantly changed due to degradation of anthocyanin. The reduction of color was observed in range of 1.21-3.92 % for film incorporated 0-30 wt%anthocyanin. The tensile strength of films decreased after light exposure. The addition of anthocyanin acted as antioxidant agent which could improve the mechanical stability. Based on the results, the obtained film would be environmentally friendly pH indicator for intelligence food packaging.

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ แอนโทไซยานิน อายุการใช้งานผ่านการกระตุ้นด้วยแสง

Keywords: Intelligent packaging, Anthocyanin, Light aging

¹Correspondent author: pornkas@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** นักวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น



บทนำ

บรรจุภัณฑ์อาหารในอุตสาหกรรมมีการผลิตจากปิโตรเลียมมากถึง 300 ล้านตันต่อปี (2015) [1] โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกจากปิโตรเลียมส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพและมีอายุการใช้งาน 100-450 ปี [2] ดังนั้นขยะพลาสติกเหล่านี้จึงก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงได้นำมาศึกษาอย่างแพร่หลายในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายเองโดยธรรมชาติ และช่วยถนอมอาหาร เจลาตินเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เนื่องจากมีจำนวนมาก ราคาถูก ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย รวมถึงมีฤทธิ์ต้านทานการซึมผ่านของแก๊สและน้ำได้ดี [3] นอกจากนี้เจลาตินยังนิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ เช่น สารเชื่อมประสาน สารก่อเจล และสารทำอิมัลชัน [4] จากงานวิจัยที่ผ่านมาใช้เจลาตินเป็นส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายเองโดยธรรมชาติ เช่น บรรจุภัณฑ์ชีวภาพยับยั้งแบคทีเรียที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยืดระยะเวลาอาหาร [5] บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะที่สามารถบ่งชี้ความสดของอาหารได้ [6]

บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีความพิเศษกว่าบรรจุภัณฑ์ทั่วไปและได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร เนื่องจากบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะสามารถถนอมอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของอาหารระหว่างเกิดการเน่าเสีย [5] แอนโทไซยานินเป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่นิยมนำมาใช้ เป็นองค์ประกอบของสีในอาหาร โดยสีของแอนโทไซยานินจะสามารถเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพู โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ด้วยหลักการดังกล่าวเพื่อนำแอนโทไซยานินมาประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะจะทำให้สามารถบ่งชี้คุณภาพของอาหารได้กล่าวคือ ในขณะที่อาหารเกิดการเน่าเสียจะเกิดการแพร่ของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาทำให้ pH ของอาหารลดลง การเปลี่ยนแปลงของค่า pH จะส่งผลให้สารบ่งชี้ในบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ [7] ได้รับการกระตุ้นให้เกิดสีอ่อนลงหรือเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งแสดงถึงคุณภาพอาหารที่ด้อยลงจนถึงเกิดการเน่าเสียของอาหาร หากรับประทานจะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินอาหารของผู้บริโภค [6]

อัญชันเป็นพืชสมุนไพรท้องถิ่นที่มีอยู่มากในประเทศไทยซึ่งมีแอนโทไซยานินเป็นส่วนประกอบสำคัญ โดยแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ในปัจจุบันแอนโทไซยานินนำมาใช้ประโยชน์มากมายเช่น ด้านอุตสาหกรรมยานำมาใช้ในรูปยาโรค เช่น อาการนอนไม่หลับ แผลในปาก เชื้อบูตาอักเสบ และชะลอการเสื่อมสภาพของดวงตา [8] ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้นำมาใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติ สารบ่งบอกความสดของอาหารโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีของบรรจุภัณฑ์อาหารเมื่อถูกกระตุ้นด้วยกรด เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบสสูงหรือ pH มากกว่า 11 จะทำให้แอนโทไซยานินเป็นสีน้ำเงินเข้ม และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดสูงหรือ pH ต่ำกว่า 3 จะทำให้แอนโทไซยานินมีสีแดง [9] แอนโทไซยานินเป็นสารสกัดที่มีเสถียรภาพต่ำสามารถย่อยสลายได้ง่าย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายของสารแอนโทไซยานินเช่น ค่า pH อุณหภูมิในการเก็บรักษา แสง ออกซิเจน และ สารละลาย เป็นต้น [10] จากงานวิจัยของ Musso และคณะ [11] ศึกษาการเติมสารบ่งชี้ pH (เมทิลออเรนจ์ นิวเทรลเรด และ โบรโมคลีซอลกรีน) ในฟิล์มเจลาติน พบว่าสารบ่งชี้ pH ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับฟิล์มเจลาติน เพิ่มคุณสมบัติทางกล และลดค่าการละลายน้ำ จากงานวิจัยของ Makasana และคณะ [12] ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันโดยใช้สารละลายที่ต่างกัน พบว่าน้ำได้ประสิทธิภาพการสกัดมากที่สุดโดยเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและราคาถูก จากงานวิจัยของ Santos และคณะ [13] ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานิน ร้อยละผลได้ และปริมาณสารประกอบฟีนอลจากลูกหว้าด้วยการสกัดด้วยวิธีต่างกันคือ Ultrasound Assisted Extraction (UAE) Agitated Bed Extraction และ Soxhlet Extraction พบว่าการสกัดด้วยวิธี UAE ได้ปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการศึกษาศักยภาพสมบัติทางกายภาพและทางกลของฟิล์มอัจฉริยะที่ประกอบด้วยเจลลาตินและสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน โดยการกระตุ้นด้วยแสง การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มทดสอบด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer และทดสอบแรงดึงโดยใช้ Universal testing machine ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะสำหรับตรวจสอบคุณภาพอาหาร

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบและชิ้นงาน

1.1 การเตรียมสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

- 1) นำดอกอัญชันสดอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 40 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นบดให้ได้น้ำหนัก 100 เมช
- 2) สกัดแอนโทไซยานินจากอัญชันด้วยวิธีอัลตราโซนิกส โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในสัดส่วน 1:4 (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 3) แยกกากอัญชันออกจากตัวทำละลาย ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.2 การขึ้นรูปฟิล์ม

- 1) นำแผ่นฟิล์มเจลลาตินสำเร็จรูป 3.5 กรัม ละลายในน้ำ 20 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
- 2) นำกลีเซอรอลร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักเจลลาติน) กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
- 3) นำสารสกัดแอนโทไซยานิน ผสมในของผสมที่ปริมาณร้อยละ 0 5 15 30 (โดยน้ำหนัก) และกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
- 4) ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มเจลลาตินโดยเทลงที่แม่พิมพ์ปริมาณ 9 กรัม
- 5) อบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนแผ่นฟิล์มขึ้นรูปสมบูรณ์

2. การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติ

2.1 เสถียรภาพต่อแสง

เตรียมชิ้นงานขนาด 1x1 ตารางเซนติเมตร ทดสอบเสถียรของแผ่นฟิล์มคอมพอสิตภายใต้แสงจากหลอดไฟในห้องจำลองที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยระยะห่างระหว่างแผ่นฟิล์มคอมพอสิตกับหลอดไฟ 15 เซนติเมตร จากนั้นนำมาวัดการสลายตัวของสีในแผ่นฟิล์ม

2.2 ตรวจสอบสีของแผ่นฟิล์ม

ทดสอบเสถียรภาพของสีเปรียบเทียบก่อนและหลังอยู่ภายใต้แสงของหลอดไฟเป็นเวลา 15 วัน ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดสี (CR-400 Minolta Chroma Meter) วางฟิล์มขนาด 1x1 ลงบนแผ่นสีขาวและใช้การวัดสี CIELAB [14] เพื่อวัดสี $L^* = 0$ (สีดำ) ถึง $L^* = 100$ (สีขาว) $-a^*$ (สีเขียว) ถึง $+a^*$ (สีแดง) และ $-b^*$ (สีน้ำเงิน) ถึง $+b^*$ (สีเหลือง) ค่ามาตรฐานของสีขาว $L_0^* = 97.39$ $a_0^* = 0.03$ และ $b_0^* = 1.77$ โดยพิจารณาจากแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 และมาตรฐาน observer 2° และ $L^* a^* b^*$ และการเปลี่ยนแปลงของสีตามเวลาประเมินโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของสี (ΔE) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้



$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta L^* = L^* - L_0^* \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a^* - a_0^* \quad (3)$$

$$\Delta b^* = b^* - b_0^* \quad (4)$$

ทดสอบเสถียรภาพของสีต่อค่า pH ในระดับต่างๆ ที่ pH 2 6 และ 11 แห่ตัวอย่างในสารละลายกรด (สารละลายบัฟเฟอร์กรดไฮโดรคลอริก) และสารละลายเบส (เบสสารละลายบัฟเฟอร์เบสโซเดียมไฮดรอกไซด์) เป็นเวลา 5 วินาที คำนวณ L^* a^* และ b^* ได้จากสมการ (2) – (4)

2.3 สมบัติทางกล

ทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 882-10 ระยะจับ 50 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 5 มิลลิเมตร ต่อนาที โดยมีขนาดชิ้นงานกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และหนา 0.15 มิลลิเมตร เพื่อดูค่าโมดูลัสความต้านทานแรงดึงและระยะยืดของฟิล์มด้วยเครื่อง Universal testing machine (Instron, Model 5567)

ผลอภิปรายผลงานวิจัย

1. ผลการตอบสนองต่อค่า pH ในระดับต่าง ๆ ของฟิล์มเจลาตินอัจฉริยะที่ประกอบด้วยสารสกัดแอนโทไซยานิน

ผลการตอบสนองต่อค่า pH ของแผ่นฟิล์มอัจฉริยะในช่วงระยะ 2 6 และ 11 ค่าของการตอบสนองต่อค่า pH โดยตัวแปร L^* a^* และ b^* แสดงในตารางที่ 1 จากค่า L^* พบว่าแผ่นฟิล์มที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินร้อยละ 5 15 และ 30 มีค่าลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 2-6 และลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 6 -11 แสดงถึงค่าความสว่างของแผ่นฟิล์ม จากค่า a^* (- สีเขียว และ + สีแดง) พบว่ามีค่าลดลงเมื่อ pH ต่ำกว่า 6 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ V.A. Pereira Jr. และ คณะ [9] แอนโทไซยานินในสภาวะเป็นกรดจะแสดงสีแดงซึ่งเป็นผลจาก flavylium cation ที่ช่วง pH 1 – 4 และค่า pH มากกว่า 6 จะแสดงสีเขียวในสภาวะที่เป็นเบส ($-a^*$) จากค่า b^* (- สีน้ำเงิน และ + สีเหลือง) พบว่ามีค่าลดลงจนถึงติดลบเมื่อค่า pH และ สัดส่วนร้อยละของสารสกัดจากอัญชันเพิ่มสูงขึ้น ค่าติดลบแสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดจากอัญชันมีสีน้ำเงินและค่าความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของอัญชันมากขึ้น การตอบสนองของฟิล์มอัจฉริยะต่อค่า pH สามารถบ่งชี้อาหารเมื่อมีการเน่าเสียเช่น ในอาหารทะเลซึ่งเมื่อเน่าเสียจะผลิต ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไดเมทิลลามีน และ ไตรเมทิลลามีน ส่งผลให้อาหารมีสภาวะเป็นกรด [15]

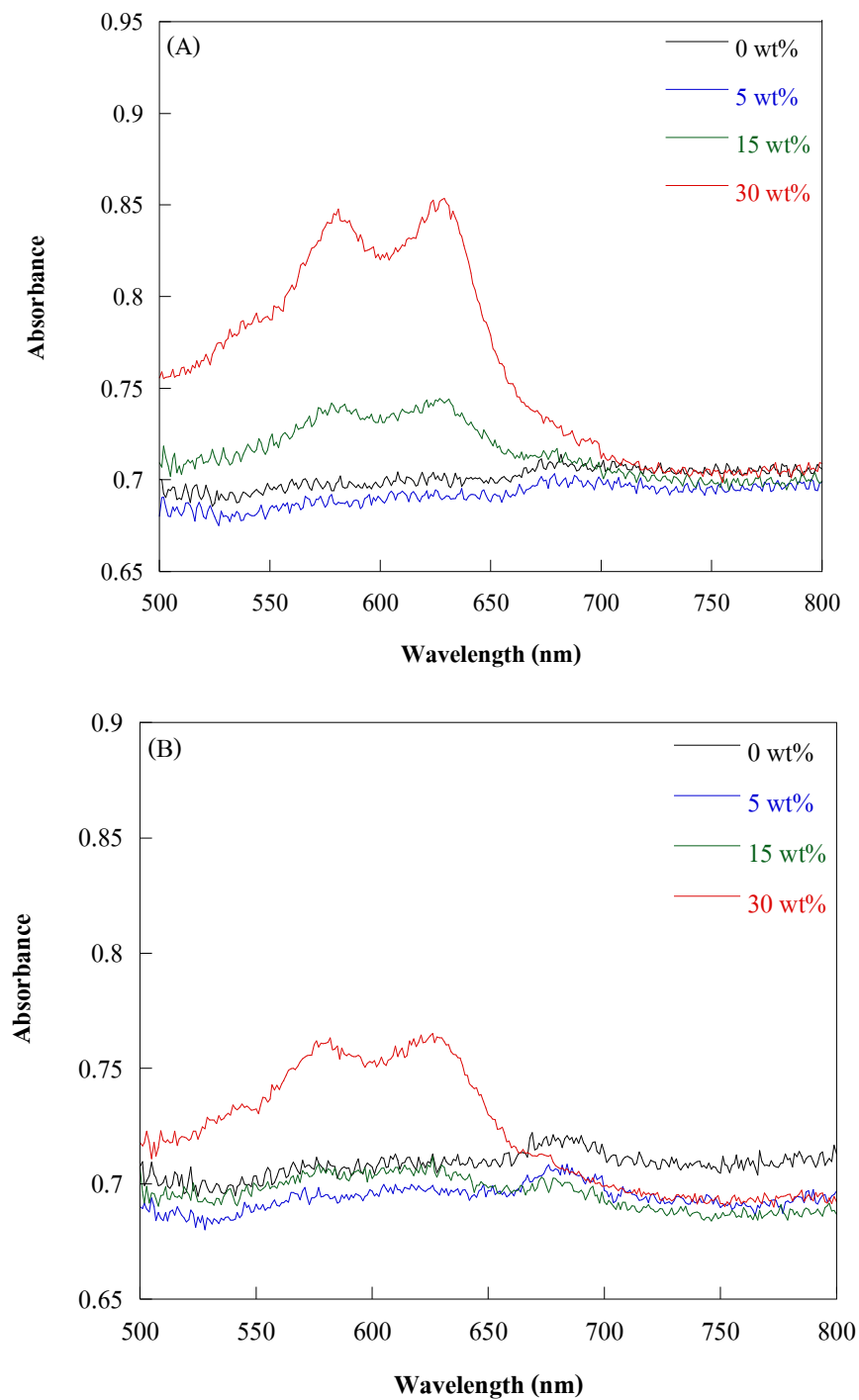
ตารางที่ 1 ผลตอบสนองต่อค่า pH ในระดับต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มอัจฉริยะที่ประกอบด้วยร้อยละสารสกัดจากอัญชัน

ปริมาณแอนโทไซยานิน	pH	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
0%	2	63.95	-1.11	2.13
	6	65.58	-0.94	1.09
	11	62.62	-0.01	-0.95
5 wt%	2	63.88	0.81	0.98
	6	64.53	-0.85	0.56
	11	61.48	-0.46	-0.04
15 wt%	2	59.34	5.29	0.89
	6	63.18	-0.64	-0.20
	11	60.23	-0.70	-1.52
30 wt%	2	58.90	8.09	-0.90
	6	61.81	-2.09	-0.86
	11	59.33	-0.31	-2.48

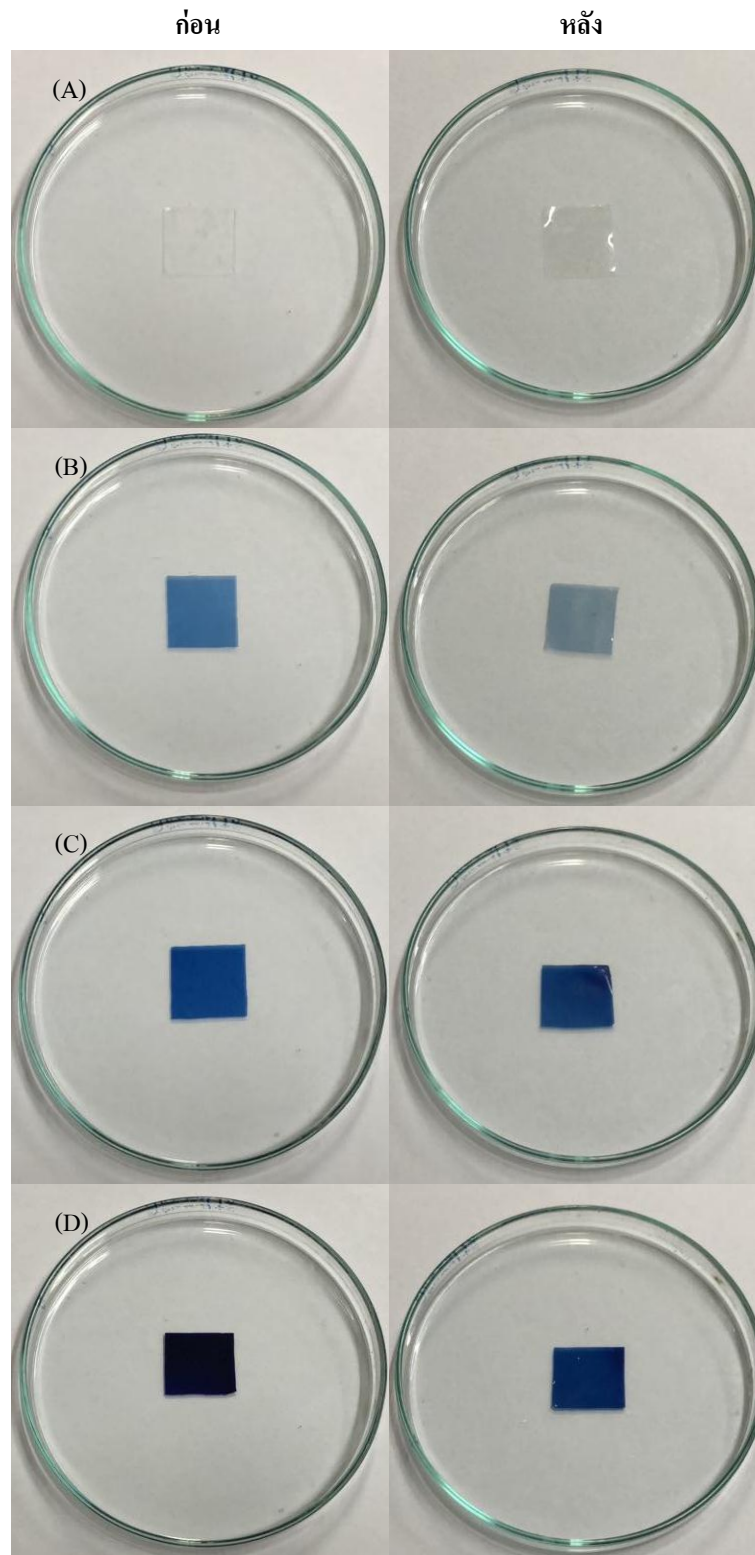
2. สมบัติทางกายภาพของฟิล์มอัจฉริยะ

ผลการทดสอบสีของแผ่นฟิล์มเจลลาตินที่เติมสารสกัดจากอัญชันพบแสดงในภาพที่ 1 (A) และ (B) และสรุปในตารางที่ 1 เนื่องจากสีของสารสกัดจากอัญชันปรากฏสีม่วง ดังนั้นจึงพบช่วงของการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร และ 620 นาโนเมตร ของฟิล์มก่อนและหลังการทดสอบการเสื่อมสภาพด้วยแสง การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชันแปรผกผันกับค่าความโปร่งใส (L^*) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารสกัดจากอัญชันทำให้ความเข้มของค่าสีน้ำเงิน ($-b^*$) เพิ่มขึ้น ตามปริมาตรของสัดส่วนสารสกัดจากอัญชัน ดังแสดงในตารางที่ 2

หลังการทดสอบการกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน พบว่าฟิล์มที่ประกอบด้วยสารสกัดแอนโทไซยานินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ยังคงแสดงค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร และ 620 นาโนเมตร ที่ชัดเจนเทียบกับการเติมสารสกัดแอนโทไซยานินร้อยละ 0 ถึง 15 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 1 (B) เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ในตารางที่ 1 โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE ก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งพบว่าการกระตุ้นด้วยแสงที่เวลา 15 วัน ส่งผลให้ค่า ΔE มีการเปลี่ยนแปลงสำหรับฟิล์มที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินที่ร้อยละ 0 ถึง 30 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 2 สำหรับฟิล์มที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ดังนั้นปริมาณการเติมสารสกัดแอนโทไซยานินที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก แสดงเสถียรภาพของสีสูงสุดในการนำไปใช้งาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ M.J. Akhtar และคณะ [16] ศึกษาการเปรียบเทียบเสถียรภาพต่อแสงจากสารต้านอนุมูลอิสระของรงควัตถุจากธรรมชาติพบว่าภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสง มีการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบ่งชี้ค่า pH ของฟิล์มอัจฉริยะบ่งชี้ pH ลดลง



ภาพที่ 1 การดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 500 – 800 nm ของฟิล์มเจลาคีนที่เติมสารสีกัดแอนโทไซยานินที่ร้อยละ 0 5 15 และ 30 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ: (A) ก่อนและ (B) หลังการกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 2 फिल्मเจลติดก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน ที่มีส่วนผสมของสารสกัดแอนโทไซยานิน
(A) ร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก (B) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (C) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และ (D) ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก



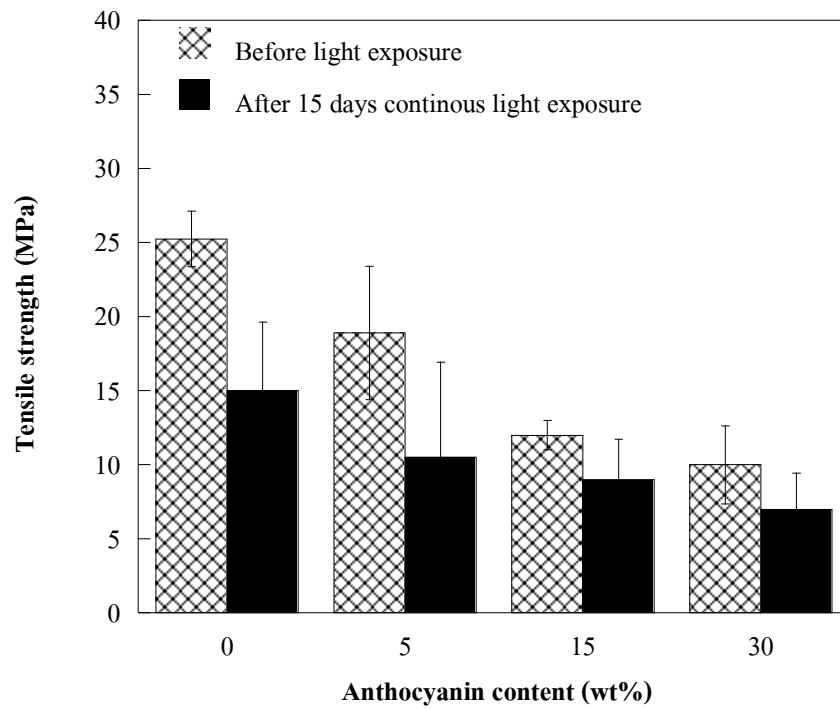
ตารางที่ 2 ปริมาตรสี (L^* , a^* , b^* และ ΔE) ของฟิล์มเจลลาตินที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินที่สัดส่วนต่าง ๆ (ร้อยละ 0, 5, 15 และ 30 โดยน้ำหนัก) ก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน

ปริมาณ แอนโทไซยานิน	เวลา (วัน)	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
0 wt%	0	54.34	1.01	-3.08	43.33
	15	52.69	0.55	-3.59	45.02
5 wt%	0	53.21	0.61	-3.69	44.52
	15	52.04	1.08	-5.21	45.90
15 wt%	0	51.77	0.31	-5.26	46.16
	15	51.30	1.10	-5.79	46.72
30 wt%	0	48.48	-0.36	-7.53	49.79
	15	50.79	1.03	-7.31	47.49

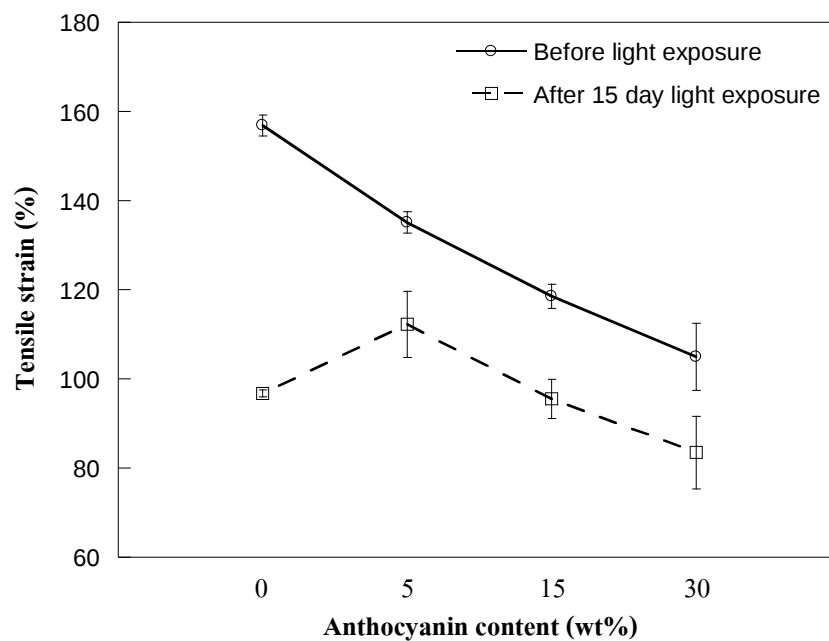
3. สมบัติทางกลของฟิล์มอัจฉริยะ

จากภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มเจลลาตินที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสง ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีค่ามากที่สุดที่ 25.23 MPa และลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารสกัดแอนโทไซยานิน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ X. Zhai และคณะ [17] พบว่าการลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงเกิดจากโครงสร้างสายโซ่โมเลกุลภายในพอลิเมอร์ที่แตกด้วยโมเลกุลของสารสกัดแอนโทไซยานินทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์มีความอิสระในการเคลื่อนย้ายได้ดี ส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อฟิล์มผ่านการกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน พบว่าฟิล์มที่ไม่มีสารสกัดแอนโทไซยานินมีค่าต้านทานแรงดึงลดลงมากที่สุดถึงร้อยละ 40.55 สำหรับฟิล์มที่เติมแอนโทไซยานินร้อยละ 5 ถึง 30 โดยน้ำหนัก มีค่าต้านทานแรงดึงลดลงในช่วงร้อยละ 25.00 ถึง 47.09 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดแอนโทไซยานินทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในการต้านการเสื่อมสภาพด้วยแสง ซึ่งในงานวิจัยของ Cerruti et al. [18] พบว่าการเติมสารสกัดจากองุ่นในฟิล์มพอลิพรอพิลีนสามารถรักษาเสถียรภาพสมบัติทางกล โดยสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากองุ่นช่วยต้านทานการเกิดออกซิเดชันในระหว่างการทดสอบเป็นเวลา 1200 ชั่วโมง ทั้งนี้ฟิล์มแบบ 2 ชั้น สามารถปรับปรุงค่าต้านทานแรงดึงได้ จากงานวิจัยของ Vejdani และคณะ [19] พบว่าการเติมไททาเนียมไดออกไซด์สัดส่วนที่เหมาะสมในชั้นฟิล์มเจลลาตินของฟิล์มเจลลาติน/อาร์ สามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึง อีกทั้งไททาเนียมไดออกไซด์สามารถต้านและสะท้อนรังสียูวี ส่งผลให้ช่วยยืดอายุการใช้งานของฟิล์มอัจฉริยะ

จากภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าร้อยละการยืดของแผ่นฟิล์มเจลลาตินที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสง พบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดแอนโทไซยานินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละการยืดที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเติมสารสกัดแอนโทไซยานินมากกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ร้อยละการยืดลดลงเนื่องจากปริมาณแอนโทไซยานินมีปริมาณมากเกินไป ทำให้เฟสของเมทริกซ์ไม่มีความต่อเนื่อง



ภาพที่ 3 ผลตอบสนองการต้านทานแรงดึงก่อนและหลังถูกกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน ของแผ่นฟิล์มอัจฉริยะที่ประกอบด้วยสารสกัดจากอัญชันร้อยละ 0 5 15 และ 30



ภาพที่ 4 ผลตอบสนองร้อยละการยืดก่อนและหลังถูกกระตุ้นด้วยแสงเป็นเวลา 15 วัน ของแผ่นฟิล์มอัจฉริยะที่ประกอบด้วยสารสกัดจากอัญชันร้อยละ 0 5 15 และ 30



สรุปผลงานวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้พัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มเจลาตินอัจฉริยะโดยการเติมสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันที่สัดส่วน 0.5, 15 และ 30 โดยน้ำหนัก และทดสอบภายใต้แสงจากหลอดไฟเพื่อทดสอบเสถียรภาพของแผ่นฟิล์มเมื่ออยู่ภายใต้แสง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของสีระหว่างก่อนและหลังทดสอบภายใต้แสงเนื่องจากเกิดการย่อยสลายของสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินจากอัญชัน นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณร้อยละสารสกัดแอนโทไซยานินส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงลดลง การเติมสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันที่สัดส่วน 15 โดยน้ำหนัก เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าความแตกต่างของสีและร้อยละการลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงลดลงน้อยที่สุด ซึ่งแอนโทไซยานินทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ อย่างไรก็ตามแอนโทไซยานินยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยรักษาเสถียรภาพของสมบัติทางกล

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพิชเชษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารอ้างอิง

- 1 Tanase EE, Popa EM, Rapa M, Popa O, Popa IV. Biodegradation study of some food packaging biopolymers based on PVA. Bull Univ Agric Sci Vet Med Cluj-Napoca Anim Sci Biotechnol. 2016 Mar;73(1):89–94.
- 2 Cano AI, Cháfer M, Chiralt A, González-Martínez C. Biodegradation behavior of starch-PVA films as affected by the incorporation of different antimicrobials. Polym Degrad Stab. 2016 Oct;132:11–20.
- 3 Ge L, Zhu M, Li X, Xu Y, Ma X, Shi R, et al. Development of active rosmarinic acid-gelatin biodegradable films with antioxidant and long-term antibacterial activities. Food Hydrocoll [Internet]. 2018;83(February):308–316. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.052>
- 4 Prommajak T, Raviyan P. Physical properties of gelatin extracted from skin of Thai pangas fish (Pangasius bocourti Sauvage). Food Appl Biosci J [Internet]. 2013;1(3):131–145. Available from: http://www.agro.cmu.ac.th/fabjournal/data/2013_V1/12_FABJ1_3_2013.pdf
- 5 Fang Z, Zhao Y, Warner RD, Johnson SK. Active and intelligent packaging in meat industry. Trends Food Sci Technol [Internet]. 2017;61(2):60–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002>
- 6 Choi I, Lee JY, Lacroix M, Han J. Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. Food Chem. 2017 Mar;218:122–128.
- 7 Liu B, Xu H, Zhao H, Liu W, Zhao L, Li Y. Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. Carbohydr Polym [Internet]. 2017;157:842–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.067>
- 8 Anthika B, Kusumocahyo SP, Sutanto H. Ultrasonic Approach in Clitoria ternatea (Butterfly Pea) Extraction in Water and Extract Sterilization by Ultrafiltration for Eye Drop Active Ingredient. Procedia Chem [Internet]. 2015;16(6):237–44. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876619615001941>

- 9 Pereira VA, de Arruda INQ, Stefani R. Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleracea* (Red Cabbage) as Time–Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocoll*. 2015 Jan;43:180–188.
- 10 Castañeda-Ovando A, Pacheco-Hernández M de L, Páez-Hernández ME, Rodríguez JA, Galán-Vidal CA. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chem* [Internet]. 2009;113(4):859–871. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>
- 11 Musso YS, Salgado PR, Mauri AN. Gelatin based films capable of modifying its color against environmental pH changes. *Food Hydrocoll* [Internet]. 2016;61:523–530. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.013>
- 12 Makasana J, Dholakiya BZ, Gajbhiye NA, Raju S. Extractive determination of bioactive flavonoids from butterfly pea (*Clitoria ternatea* Linn.). *Res Chem Intermed*. 2017;43(2):783–799.
- 13 C. Veggi P, T. Santos D, Fabiano-Tixier A-S, Le Bourvellec C, Angela A. Meireles M, Chemat F. Extraction of Polyphenols and Anthocyanins from the Jambul (*Syzygium cumini*) Fruit Peels. *Food Public Heal* [Internet]. 2013;3(3):119–129. Available from: <http://article.sapub.org/10.5923.j.fph.20130303.02.html>
- 14 Uranga J, Etxabide A, Guerrero P, Caba K De. Food Hydrocolloids Development of active fish gelatin films with anthocyanins by compression molding. *Food Hydrocoll* [Internet]. 2018;84(April):313–320. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.018>
- 15 Ma Q, Ren Y, Gu Z, Wang L. Developing an intelligent film containing *Vitis amurensis* husk extracts: The effects of pH value of the film-forming solution. *J Clean Prod* [Internet]. 2017;166:851–859. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.099>
- 16 Akhtar MJ, Jacquot M, Jasiewicz J, Jacquot C, Imran M, Jamshidian M, et al. Antioxidant capacity and light-aging study of HPMC films functionalized with natural plant extract. *Carbohydr Polym* [Internet]. 2012;89(4):1150–1158. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.088>
- 17 Zhai X, Shi J, Zou X, Wang S, Jiang C, Zhang J, et al. Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocoll* [Internet]. 2017;69:308–317. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.014>
- 18 Cerruti P, Malinconico M, Rychly J, Matisova-Rychla L, Carfagna C. Effect of natural antioxidants on the stability of polypropylene films. *Polym Degrad Stab* [Internet]. 2009;94(11):2095–2100. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.07.023>
- 19 Vejdani A, Mahdi S, Adeli A, Abdollahi M. LWT - Food Science and Technology Effect of TiO₂ nanoparticles on the physico-mechanical and ultraviolet light barrier properties of fish gelatin / agar bilayer film. *LWT - Food Sci Technol* [Internet]. 2016;71:88–95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.011>