

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## สมบัติทางเคมีกายภาพ ทางกล และทางความร้อนของฟิล์มบริโภาคได้ จากแป้งมันเลือด

น้ำฝน สามสาลี\* นิสารัม สัมช่า และ สุมาลี มุสิกกา

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

---

รับบทความ 8 กันยายน 2563 แก้ไขบทความ 4 มกราคม 2564 ตอรับบทความ 17 กุมภาพันธ์ 2564

### บทคัดย่อ

แป้งจากมันเลือดเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบริโภาคได้ ซึ่งสามารถสัมผัสอาหารได้โดยตรง บริโภาคได้ และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของสมบัติทางเคมีกายภาพ ทางกล และทางความร้อนของฟิล์มบริโภาคได้จากแป้งมันเลือด สารละลายฟิล์มถูกเตรียมที่ความเข้มข้นของแป้งมันเลือดร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยศึกษาที่ปริมาณแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของแป้งมันเลือด การขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธีการเทหล่อขึ้นรูปและทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับแตกต่างกันของฟิล์มบริโภาคได้จากแป้งมันเลือดไม่มีผลต่อความหนา สี ความโปร่งใส และการยึดตัวของฟิล์ม แต่พบว่าปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและการต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น สมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มมี 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นแรกที่ 50 ถึง 130 องศาเซลเซียส และชั้นที่สองที่ 263 ถึง 315 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ FT-IR พบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับแตกต่างกันมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์ม ( $3278\text{ cm}^{-1}$ ) ดังนั้นจากการศึกษาฟิล์มบริโภาคได้จากแป้งมันเลือดสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อปกป้องคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้

**คำสำคัญ :** ฟิล์มบริโภาคได้; มันเลือด; สมบัติทางเคมีกายภาพ; สมบัติทางกล; สมบัติทางความร้อน

---

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 3416 3541, ไลน์อีเมลล์: namfon.sm@rmuti.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## Physicochemical, Mechanical and Thermal Properties of Edible Film from Man Lueat (*Dioscorea alata*) Flour

Namfon Samsalee\* Nisa Romsomsa and Sumalee Musika

Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan  
744 Sura Narai Road, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000

---

Received 8 September 2020; Revised 4 January 2021 ; Accepted 17 February 2021

### Abstract

Man Lueat (*Dioscorea alata*) flour is a biopolymer material that can be formed into an edible film. It can be contacted directly with food, consumed and naturally biodegraded. The aims of this research were to study the effect of physicochemical, mechanical and thermal properties of edible film from Man Lueat flour. The film forming solution was prepared by Man Lueat flour at 4% w/w. The glycerol was used as a plasticizer. It was studied at 3 different levels; 30 40 and 50% w/w of Man Lueat flour. The film forming solutions were formed using the solution casting method and dried at 50 °C for 16 h. Results showed that the glycerol content at different levels of the edible film from Man Lueat flour had no effect on the thickness, color, transparency and elongation at break. However, the moisture content, water solubility, swelling property and water vapor permeability of the film tended to increase when increasing the glycerol content. In contrast, the Young's modulus and tensile strength of films tended to decrease significantly, when the glycerol content increased. Thermal properties were found that decomposition temperature of films occurred 2 stage; the first stage occurs between 50 to 130 °C and the second stage occurs between 263 to 315 °C. The analysis of FT-IR showed that the different levels of glycerol affected the structure of the film (3278 cm<sup>-1</sup>). Therefore, the edible film from Man Lueat flour can be applied as a food packaging material to protect the quality of food products.

**Keywords :** Edible Film; Man Lueat; Physicochemical Properties; Mechanical Properties; Thermal Properties

---

\* Corresponding Author. Tel.: +669 3416 3541, E-mail Address: [namfon.sm@rmuti.ac.th](mailto:namfon.sm@rmuti.ac.th)

## 1. บทนำ

มันเลื้อย (*Dioscorea alata* L.) เป็นมันพื้นบ้าน (Yam) จำพวกพืชหัว จัดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ พบมากในภูมิภาคเขตร้อน จัดอยู่ในวงศ์ Dioscoreaceae มีหัวอยู่ใต้ดินเป็นก้อนกลม ๆ รูปร่างไม่แน่นอน มีผิวสีน้ำตาล เนื้อในหัวมีสี เช่น มีจุดม่วงกระจายในเนื้อสีขาว (White with Purple Dots) เนื้อสีขาวปนม่วง (Light Purple) หรือเนื้อสีม่วงเข้ม (Dark Purple) มีรากฝอยกระจายทั่วหัว ลำต้นสีเหลี่ยม ไม่มีหนาม ใบเป็นใบเดี่ยวที่โคนเรียงสลับกัน [1], [2] มันเลื้อยนิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารได้หลายรูปแบบ เช่น ขนมหวาน และไอศกรีม เป็นต้น นอกจากนั้นสามารถนำไปแปรรูปเป็นแป้งได้ เช่นเดียวกับแป้งจากข้าวสาลี และแป้งจากมันสำปะหลัง จากงานวิจัยของ S. Promdang et al. [2] รายงานว่า *D. alata* มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.09-11.42 เส้นใยร้อยละ 0.06-0.12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 67.23-79.06 และปริมาณน้ำตาลร้อยละ 1.2-3.1 S. Jantathai et al. [3] รายงานองค์ประกอบของแป้งมันเลื้อย พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.24 ไขมันร้อยละ 0.56 เถ้าร้อยละ 3.73 เส้นใยร้อยละ 0.10 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 81.63 F. D. Wireko-Manu et al. [4] ได้รายงานองค์ประกอบของแป้ง *D. alata* (Flour) พบว่ามีปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.07-9.05 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 60.42-77.56 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 2.43-6.91 และปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 21.69-31.56 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบทางเคมีของมันเลื้อยมีค่าแตกต่างกันทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแหล่งที่มา รวมถึงพื้นที่ในการเจริญเติบโตของมันเลื้อยที่ต่างกัน มันเลื้อยเป็นมันพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีธาตุอาหารที่มีประโยชน์ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม แอนโทไซยานิน และแคโรทีนอยด์ [2] แป้งจากมันเลื้อยถูกนำไปใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียวในการทำมันพินซึ่งพบว่าสามารถใช้ทดแทนการใช้แป้งสาลีได้และผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [3] ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากมันเลื้อยในอุตสาหกรรม

อาหารพบว่ายังค่อนข้างน้อย ทั้งที่ในประเทศไทยมีการบริโภคมันดังกล่าวมาเป็นเวลานาน

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์บริโภคได้สามารถผลิตได้จากวัสดุพอลิเมอร์ เช่น โปรตีน ลิพิด และแป้ง โดยแป้งจัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่สามารถนำมาเป็นองค์ประกอบในการขึ้นรูปฟิล์มบริโภคได้ทั้งในรูปของฟลาวัวร์ (Flour) และ สตาร์ช (Starch) ฟิล์มจากแป้งมีสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี อย่างไรก็ตามแป้งธรรมชาติ (Native) มีความเปราะและไม่สามารถขึ้นรูปได้ การเติมพลาสติกไซเซอร์สามารถช่วยปรับปรุงให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและสามารถใช้งานได้ [5] พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้เติมในฟิล์มบริโภคได้ เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) ซอร์บิทอล (Sorbitol) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol) เป็นต้น ซึ่งพลาสติกไซเซอร์แต่ละชนิดส่งผลต่อสมบัติของฟิล์มบริโภคได้ที่แตกต่างกัน จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฟิล์มบริโภคได้หลายชนิดที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ [5]-[13] นอกจากนั้นมีการรายงานว่าการเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์มจากแป้ง [10]-[13] โดยพลาสติกไซเซอร์ทำหน้าที่ในการลดแรงระหว่างโมเลกุล (Intermolecular Interactions) ของสายโซ่พอลิเมอร์ การลดแรงระหว่างโมเลกุลเป็นการเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ ส่งผลทำให้ปรับปรุงความยืดหยุ่น (Flexibility) ความยืดตัว (Elongation) และความเหนียว (Toughness) ของฟิล์ม [5] นอกจากนั้นฟิล์มจากแป้งสามารถรับประทานได้ ย่อยสลายได้ ราคาถูก และหาได้ง่าย โดยแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) โมเลกุลของอะไมโลสสามารถเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ได้ดี ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์มที่มีความแข็งแรง [6], [12] S. Mali et al. [12] ได้รายงานว่ายาม (Yam Starch) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาขึ้นรูปผลิตฟิล์มชีวภาพได้ เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสประมาณ

ร้อยละ 30 ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการขึ้นรูปฟิล์ม นอกจากนั้นปริมาณอะไมโลสที่สูงขึ้นทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วย [12] มันแกวเป็นพืชที่มีหัวอยู่ใต้ดิน เช่นเดียวกับมันเลือด โดยมีปริมาณของอะไมโลสอยู่ที่ประมาณร้อยละ 23 และพบว่าแป้งจากมันแกวสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ [11]

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาฟิล์มสตาร์ชแยมจาก *D. trifida* ซึ่งฟิล์มที่ได้มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและความเค้นสูงสุดของฟิล์มมากกว่าฟิล์มสตาร์ชจากมันสำปะหลัง ซึ่งสมบัติดังกล่าวบ่งบอกถึงความสามารถในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารได้ดี [14] งานวิจัยของ S. Mali et al. [13] ได้ศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มสตาร์ชแยมจาก *D. alata* พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือใช้ปริมาณสตาร์ชแยมความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และปริมาณกลีเซอรอลที่ร้อยละ 1.3 โดยน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม โดยฟิล์มมีความหนา 0.11 มิลลิเมตร ทำให้มีความต้านทานแรงเจาะทะลุ (Puncture Strength) ที่สูงที่สุดและมีสมบัติการป้องกันการแพร่ผ่านไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของฟิล์มที่ดี [13] นอกจากนี้มีงานวิจัยฟิล์มสตาร์ชแยมร่วมกับไคโตซานซึ่งพบว่าฟิล์มที่ได้มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย *Salmonella enteritidis* [15] อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การใช้ประโยชน์จาก *D. alata* หรือแยม เป็นการนำสตาร์ชมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มบริโภคได้ โดยทั่วไปสตาร์ชเป็นวัตถุดิบที่มีราคาที่สูงกว่าแป้งฟลาวัวร์ และมีกรรมวิธีการเตรียมที่ยุ่งยากกว่า ดังนั้น แป้งจากมันเลือดในรูปแป้งฟลาวัวร์จึงมีความน่าสนใจในการนำมาศึกษาการผลิตเป็นแผ่นฟิล์มบริโภคได้ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำแป้งฟลาวัวร์จากมันเลือดนำมาเป็นองค์ประกอบในการขึ้นรูปฟิล์มบริโภคได้ โดยศึกษาปริมาณกลีเซอรอลที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเลือด และศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนของฟิล์มที่ได้ โดยฟิล์มจากแป้งมันเลือดที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์

อาหารได้ในอนาคต รวมทั้งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้ประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมันเลือดที่เป็นมันพื้นบ้านด้วย

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเตรียมแป้ง

การเตรียมแป้งมันเลือด โดยนำมันเลือดที่ซื้อมาจากเกษตรกร ในตำบลท่ามะไฟหวาน อำเภอแก่งคร้อ จังหวัดชัยภูมิ ซึ่งฤดูกาลที่เก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม 2562 นำมันเลือดมาล้างทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรก ปอกเปลือก และล้างด้วยน้ำอีกครั้ง หั่นให้เป็นแผ่นบาง ๆ นำไปแช่ในสารละลาย Ascorbic Acid ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 [16] เป็นเวลา 5 นาที นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำใส่ถาดเพื่อเข้าตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, รุ่น ED53, Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก [17]) นำมันเลือดที่อบแห้งมาบดและร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 150 Mesh ซึ่งแป้งมันเลือดที่ได้มีความชื้นร้อยละ 5 มีค่า  $L^* = 51.33$ ,  $a^* = 5.91$  และ  $b^* = 10.62$  ผงแป้งมันเลือดที่ได้ถูกบรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มต่อไป

### 2.2 การขึ้นรูปฟิล์ม

การเตรียมสารละลายฟิล์ม โดยนำแป้งมันเลือดละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก [13] ให้ความร้อนสารละลายน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พร้อมกับกวนตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate Stirrer, รุ่น C-MAG-HS7, IKA, Germany) จนสารละลายเกิดลักษณะเจลาติโนส เติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ลงไปที่ร้อยละ 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของแป้งมันเลือด กวนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 10 นาที ขึ้นรูปฟิล์มโดยเทสารละลายฟิล์มลงเพลท Petri Dish ที่

เคลือบด้วยเทปลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร โดยคำนวณปริมาณของแข็งของสารละลายแต่ละสูตรให้มีปริมาณ 3 กรัม เท่ากันทุกเพลท การทำแห้งสารละลายฟิล์มโดยนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นลอกฟิล์มออกจากเพลทและเก็บที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)  $50 \pm 2\%$  เป็นเวลาอย่างน้อย 2 วัน ในโถควบคุมความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของฟิล์มต่อไป

## 2.3 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

### 2.3.1 ค่าสี

ค่าสีของฟิล์มทำการวัดด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter (Chroma Meter, CR 400, Konica Minolta, Inc., Osaka, Japan) ตามระบบ CIE Lab System ในรูปของ  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ Gloss โดยใช้ White Standard Plate ( $L_0^* = 91.04$ ,  $a_0^* = -0.20$ ,  $b_0^* = 2.37$  และ Gloss = 98.60 GU) คำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยรวมตามสมการ [18]:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

### 2.3.2 ความโปร่งใสของฟิล์ม

ความโปร่งใสของฟิล์ม (Transparency Value) [19] โดยตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 10 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร บรรจุฟิล์มลงในคิวเวทท์ นำไปวัดค่าร้อยละของแสงส่องผ่าน (% Transmittance) ที่ความยาวคลื่น 600 nm โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (รุ่น V-770 UV/VIS/NIR, Jasco Corporation, Tokyo, Japan) ใช้คิวเวทท์เปล่าเป็นแบล็กและคำนวณค่าความโปร่งใสของฟิล์มตามสมการ:

$$\text{Transparency value} = \frac{-\log T_{600}}{X} \quad (2)$$

โดยที่

$T_{600}$  = Fractional Transmittance ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

$X$  = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)

### 2.3.3 ความหนา

นำตัวอย่างฟิล์มมาวัดความหนาของฟิล์ม ด้วยเครื่องวัดไมโครมิเตอร์ (รุ่น 7301, Mitutoyo, Kanagawa, Japan) โดยวัดความหนาของฟิล์มแต่ละสูตรจำนวนสูตรละ 12 ชิ้น ตัวอย่างแต่ละชิ้นวัดความหนาจำนวน 3 จุดนับเป็น 1 ซ้ำ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแผ่นฟิล์ม

### 2.3.4 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น ดัดแปลงวิธีของ AOAC [20] ตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มก่อนอบ นำตัวอย่างใส่ถ้วยอะลูมิเนียม อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นตัวอย่างถูกนำออกจากตู้อบลมร้อน ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้น โดยให้น้ำหนักตัวอย่างคงที่ ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณหาความชื้นของตัวอย่าง

### 2.3.5 ความสามารถในการละลายน้ำ

ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility) ตามวิธี N. Samsalee และ R. Sothornvit [8] โดยตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มก่อนละลาย อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง โดยให้น้ำหนักตัวอย่างคงที่ ( $dm_1$ ) จากนั้นใส่ตัวอย่างลงในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเทสารละลายออก เพื่อแยกฟิล์มที่เหลืออยู่ นำตัวอย่างไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทำการชั่งน้ำหนัก ( $dm_2$ ) และคำนวณความสามารถในการละลายของฟิล์มตามสมการ

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{dm_1 - dm_2}{dm_1} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

$dm_1$  = เป็นน้ำหนักของตัวอย่างแห้งเริ่มต้น

$dm_2$  = เป็นน้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ไม่ละลายน้ำ

### 2.3.6 ความสามารถในการพองตัว

ความสามารถในการพองตัวของฟิล์ม (Swelling Property) ตามวิธี N. Cao et al. [21] โดยตัดตัวอย่างฟิล์มขนาด 25 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร และทำการชั่งน้ำหนักของฟิล์มเริ่มต้น ( $w_1$ ) นำแผ่นฟิล์มจุ่มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมากรอง ซับน้ำส่วนที่เกินออกจากตัวอย่าง และนำตัวอย่างที่เปียก (Wet Sample) ชั่งน้ำหนัก ( $w_2$ ) คำนวณความสามารถในการพองตัวของฟิล์ม [21]

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

$w_1$  = น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น

$w_2$  = น้ำหนักของตัวอย่างที่เปียก

### 2.3.7 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability: WVP) โดยทำการตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างฟิล์มปราศจากรอยขีดข่วน ฟองอากาศ และรูรั่วที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นำตัวอย่างฟิล์มที่ทดสอบวางบนปากถ้วยอะคริลิก ที่ทาด้วยซิลิโคนกรีส (High Vacuum Grease) ที่ภายในถ้วยทดสอบบรรจุน้ำกลั่นปริมาณ 6 มิลลิตร นำถ้วยทดสอบที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มไปชั่งน้ำหนักที่เวลา 0 ชั่วโมง จากนั้นนำถ้วยทดสอบใส่ในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิ  $27 \pm 3$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ  $50 \pm 5$  จากนั้นทำการ

บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง [8] นำค่าที่ได้คำนวณหาอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) และคำนวณค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVP) ตามสมการ

$$\text{WVP} = \frac{\text{WVTR} \times \text{thickness}}{P_{A1} - P_{A2}} \quad (5)$$

โดยที่

WVTR = ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลา (กรัมต่อชั่วโมง) ต่อพื้นที่ของแผ่นฟิล์มที่ไอน้ำซึมผ่าน (ตารางเมตร) (กรัมต่อชั่วโมงตารางเมตร)

thickness = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)

$P_{A1} - P_{A2}$  = ความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในและภายนอกถ้วยทดสอบของแผ่นฟิล์ม (กิโลปาสคาล)

### 2.3.8 สมบัติทางกล

สมบัติทางกล (Mechanical Properties) ได้แก่ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D882-97 Standard [22] โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (Instron Model 5569, Massachusetts, USA) โดยตัดชิ้นตัวอย่างของฟิล์มขนาด 8 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ยึดปลายทั้ง 2 ข้างของฟิล์มเข้ากับหัวหนีบ (Grip) อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที และค่าขนาด Load Cell 50 นิวตัน ในการทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มใช้ตัวอย่างสูตรละ 12 ชิ้น การคำนวณค่าการต้านทานแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด ตามสมการดังนี้

$$\text{Tensile strength (TS)} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (6)$$

$$\text{Elongation at break (EAB)} = \frac{L}{L_0} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่

$F_{\max}$  = ค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มขาด (นิวตัน)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม (ตารางมิลลิเมตร)

$L_0$  = ความยาวเริ่มต้นของฟิล์ม (มิลลิเมตร)

$L$  = ระยะความยาวที่ฟิล์มยืดออก (มิลลิเมตร)

### 2.3.9 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) ของฟิล์มจากแป้งมันเลือด โดยใช้เครื่อง TA Instruments (SDT 2960 Simultaneous DSC-TGA, TA Instruments Inc., Woodland, CA, USA) เพื่อวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัว โดยทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบให้มีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ตัวอย่างที่อัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 800 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน 20 มิลลิลิตรต่อนาที

### 2.3.10 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

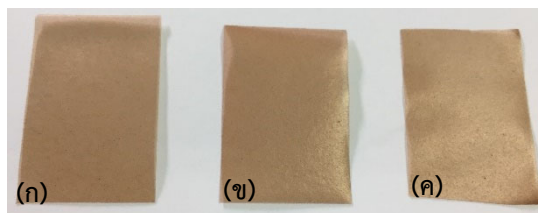
ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของแป้งจากมันเลือดและฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือด ด้วยเครื่อง ALPHA-E FT-IR Spectrophotometer (Bruker, Ettlingen, Germany) โดยวัดค่า Transmittance ของรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ช่วงเลขคลื่น (Wavenumber)  $4000-600 \text{ cm}^{-1}$  โดย Scan Setting ที่ 16 Scans และ Resolution ที่  $4 \text{ cm}^{-1}$

## 2.4 วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design รวบรวมผลการทดลอง และการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) ข้อมูลที่วิเคราะห์มาจากข้อมูลดิบอย่างน้อย 3 ซ้ำ

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (ร้อยละ 30 40 และ 50) พบว่าลักษณะปรากฏของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดมีลักษณะสีน้ำตาลอมม่วง (รูปที่ 1) โดยฟิล์มที่ได้มีค่า  $L^*$  (ความสว่าง)  $a^*$  (สีแดง) และ  $b^*$  (สีเหลือง) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการเติมปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าสีของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือด โดยมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 60.55 ถึง 62.15 ค่าสีแดงอยู่ในช่วง 9.98 ถึง 10.76 และค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 21.40 ถึง 22.00 นอกจากนั้นพบว่าค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ( $\Delta E^*$ ) ของฟิล์มทั้งสามสูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อค่าความเงาของฟิล์ม โดยปริมาณกลีเซอรอลที่เติมมากขึ้นส่งผลให้ค่าความเงาของฟิล์มมีแนวโน้มที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าการเติมปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 50 มีค่าความเงามากที่สุดไม่แตกต่างกับการเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 40



รูปที่ 1 ลักษณะของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 30 (ก) 40 (ข) และ 50 (ค)

อย่างไรก็ตามฟิล์มแป้งมันเลือดที่ไม่เติมกลีเซอรอล (ร้อยละ 0) ไม่ได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเพื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลที่

ระดับต่าง ๆ เนื่องจากฟิล์มที่ได้มีลักษณะเปราะและแตกหักง่าย ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่สมบูรณ์ได้ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานและทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้

**ตารางที่ 1** ค่าสี ความเงา และความแตกต่างของสีโดยรวมของฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

| Films        | Color parameters |                  |                  |                          |                  |
|--------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|------------------|
|              | L* <sup>ns</sup> | a* <sup>ns</sup> | b* <sup>ns</sup> | Gloss (GU)               | $\Delta E^{*ns}$ |
| 30% Glycerol | 60.55±4.46       | 9.98±2.04        | 22.00±1.82       | 26.92±2.11 <sup>a</sup>  | 37.68±5.11       |
| 40% Glycerol | 62.15±0.74       | 9.74±0.43        | 21.99±0.48       | 29.25±1.97 <sup>ab</sup> | 36.31±0.96       |
| 50% Glycerol | 61.25±0.57       | 10.76±0.78       | 21.40±1.41       | 32.70±5.45 <sup>b</sup>  | 37.04±0.91       |

**หมายเหตุ** a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ความโปร่งใสของฟิล์มเป็นสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งมีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากความโปร่งใสของฟิล์มทำให้เห็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุภายในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ได้ จากการวิเคราะห์ค่าความโปร่งใสของฟิล์มจากแป้งมันเลือด พบว่าปริมาณกลีเซอรอลที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าความโปร่งใสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี (L\* a\* และ b\*) และค่าความหนาของฟิล์มที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากความหนาของฟิล์มมีผลต่อความโปร่งแสง (Translucency) หรือการส่องผ่านแสงของฟิล์ม โดยหากฟิล์มมีความหนาที่มากทำให้ลดการส่องผ่านแสงส่งผลทำให้ค่าความโปร่งใสของฟิล์มลดลง [23] โดยฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเลือดพบว่ามีค่าความโปร่งใสอยู่ในช่วง 5.49 ถึง 5.70 หากค่าความโปร่งใสของฟิล์มต่ำบ่งบอกได้ว่าฟิล์มนั้นมีความโปร่งใสมากหรือมีความทึบแสงน้อย [9] ความทึบแสงของฟิล์มช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีความไวต่อแสงได้ เนื่องจากแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดกลิ่นหืน ที่ไม่พึงประสงค์ได้

ค่าความหนาของฟิล์มพบว่าเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์ม

(ตารางที่ 2) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.190 ถึง 0.192 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มได้ทำการควบคุมปริมาณของแข็งในแต่ละเพลทที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจึงทำให้มีค่าความหนาไม่แตกต่างกัน

ปริมาณความชื้นของฟิล์มพบว่าเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่มีค่ามากขึ้น (ตารางที่ 2) โดยฟิล์มบริโคได้จากแป้งมันเลือดที่มีปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 50 พบว่ามีปริมาณความชื้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 30 และ 40 สอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Pitiphatharaworachot และ B. Puangsin [24] ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณกลีเซอรอล (ร้อยละ 20 ถึง 35) ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังในการเตรียมฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยพบว่าเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้แผ่นฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีค่าความชื้นมากขึ้น (ร้อยละ 8.53 เป็น 25.32) ผลดังกล่าวเนื่องมาจากกลีเซอรอลเป็นพอลิออล (Polyol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ดี ทำให้กลีเซอรอลเป็นสารที่อุ้มน้ำไว้ในเมทริกซ์ของฟิล์มได้ [24] รวมถึงทำให้ฟิล์มไวต่อความชื้นได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศ



**ตารางที่ 2** ค่าความโปร่งใส ความหนา และความชื้นของฟิล์มบรีโคได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

| Films        | Transparency value <sup>ns</sup> | Thickness (mm) <sup>ns</sup> | Moisture content (%)    |
|--------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 30% Glycerol | 5.70±0.91                        | 0.190±0.009                  | 10.88±0.50 <sup>a</sup> |
| 40% Glycerol | 5.57±0.11                        | 0.192±0.013                  | 11.94±1.19 <sup>a</sup> |
| 50% Glycerol | 5.49±0.28                        | 0.190±0.006                  | 16.35±1.90 <sup>b</sup> |

**หมายเหตุ** a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ความสามารถในการละลายน้ำได้แสดงถึงลักษณะการต้านทานน้ำของแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเหมาะสมในการนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอาหาร จากการศึกษาพบว่าฟิล์มบรีโคได้จากแป้งมันเลือดที่ระดับกลีเซอรอลร้อยละ 30 มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยที่สุดแตกต่างกับการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 40 และ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) นอกจากนั้นพบว่าที่กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 40 และ 50 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์ม เนื่องจากกลีเซอรอลมีสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ฟิล์มละลายน้ำได้เมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ R. Chindapan และ W. Faiphet [25] ที่ได้รายงานว่า ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มโปรตีนจากถั่วเขียวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น (กลีเซอรอลร้อยละ 30 ถึง 50)

ความสามารถในการพองตัวของฟิล์มบ่งบอกถึงการรักษาคุณภาพในระหว่างการบรรจุและการเก็บรักษาอาหาร [10] จากการศึกษาพบว่า การเติมปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีผลต่อค่าความสามารถในการพองตัวของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) การเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 40 พบว่าฟิล์มบรีโคได้จากแป้งมันเลือดมีค่าความสามารถในการพองตัวในน้ำของฟิล์มสูงที่สุดถึงร้อยละ 183.82 ซึ่งพบว่ามีค่าความสามารถในการพอง

ตัวในน้ำที่สูงกว่าการเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 50 โดยทั่วไปค่าความสามารถในการพองตัวของฟิล์มมากเกี่ยวข้องกับปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลที่มีปริมาณมาก ทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี งานวิจัยของ M. Nouraddini et al. [10] รายงานว่าฟิล์มจากแป้งข้าวโพดและฟิล์มจากแป้งมะเขือยาวมีค่าความสามารถในการพองตัวที่ร้อยละ 103 และ 406 ตามลำดับ

สมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่ถูกนำมาใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ต่ำช่วยป้องกันการแพร่ของความชื้นที่ผ่านอาหารได้ [8] โดยทั่วไปฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์และฟิล์มโปรตีนช่วยป้องกันก๊าซออกซิเจน กลิ่น และน้ำมันได้ดี (โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว) แต่มีความสามารถในการป้องกันน้ำได้ต่ำ (โมเลกุลที่มีขั้ว) [26] จากการศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มพบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้นมีผลทำให้ฟิล์มมีค่าความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (ตารางที่ 3) โดยการเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 30 มีค่าความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำน้อยที่สุดแตกต่างกับที่ร้อยละ 40 และ 50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าที่ร้อยละ 40 และ 50 มีค่าความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการละลายน้ำได้และความชื้นของแผ่นฟิล์ม การเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถ

ในการแพร่ผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มอาจเกี่ยวข้องกับ ความชอบน้ำ (Hydrophilic) ของกลีเซอรอลที่มากขึ้น เมื่อมีการเติมในปริมาณที่มากขึ้น โดยที่กลีเซอรอลเข้าไปแทรกตัวและสร้างพันธะกับโมเลกุลของแป้งทำให้ พันธะไฮโดรเจนเกิดการอ่อนตัวลง [27]

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มจากแป้งมันเลือด กับพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) พบว่าฟิล์ม LDPE มีความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำเท่ากับ 0.0013 กรัม มิลลิเมตรต่อตารางเมตร ชั่วโมง

กิโลปาสกาล [28] ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันที่ดีกว่าฟิล์มจากแป้งมันเลือด เช่นเดียวกับฟิล์มจากแป้งพลวาร์ข้าวแดงและฟิล์มจากสตาร์ชข้าวแดงที่พบว่ามีความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำที่น้อยกว่าฟิล์มจากแป้งมันเลือด (1.56 และ 1.25 กรัม มิลลิเมตรต่อตารางเมตร ชั่วโมง กิโลปาสกาล ตามลำดับ) [29] อย่างไรก็ตามฟิล์มจากแป้งมันเลือดมีค่าความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำที่ดีกว่าฟิล์มจากเปลือกแอปเปิ้ล (4.20-7.56 กรัม มิลลิเมตรต่อตารางเมตร ชั่วโมง กิโลปาสกาล) [30]

**ตารางที่ 3** ความสามารถในการการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

| Films        | Water solubility (%)    | Swelling (%)              | WVP (g. mm./m <sup>2</sup> . h. kPa) |
|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 30% Glycerol | 16.91±1.24 <sup>a</sup> | 134.36±8.43 <sup>a</sup>  | 2.71±0.13 <sup>a</sup>               |
| 40% Glycerol | 19.15±1.09 <sup>b</sup> | 183.82±21.80 <sup>c</sup> | 3.38±0.32 <sup>b</sup>               |
| 50% Glycerol | 19.63±0.38 <sup>b</sup> | 155.61±5.60 <sup>b</sup>  | 3.51±0.34 <sup>b</sup>               |

**หมายเหตุ** a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

**ตารางที่ 4** สมบัติทางกลของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

| Films        | Mechanical properties     |                        |                                       |
|--------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------------|
|              | Young's modulus (MPa)     | Tensile strength (MPa) | Elongation at break (%) <sup>ns</sup> |
| 30% Glycerol | 113.75±17.47 <sup>c</sup> | 6.17±0.72 <sup>c</sup> | 25.42±3.97                            |
| 40% Glycerol | 56.95±9.44 <sup>b</sup>   | 4.22±0.37 <sup>b</sup> | 23.13±2.80                            |
| 50% Glycerol | 26.95±2.47 <sup>a</sup>   | 2.70±0.26 <sup>a</sup> | 22.83±2.40                            |

**หมายเหตุ** a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

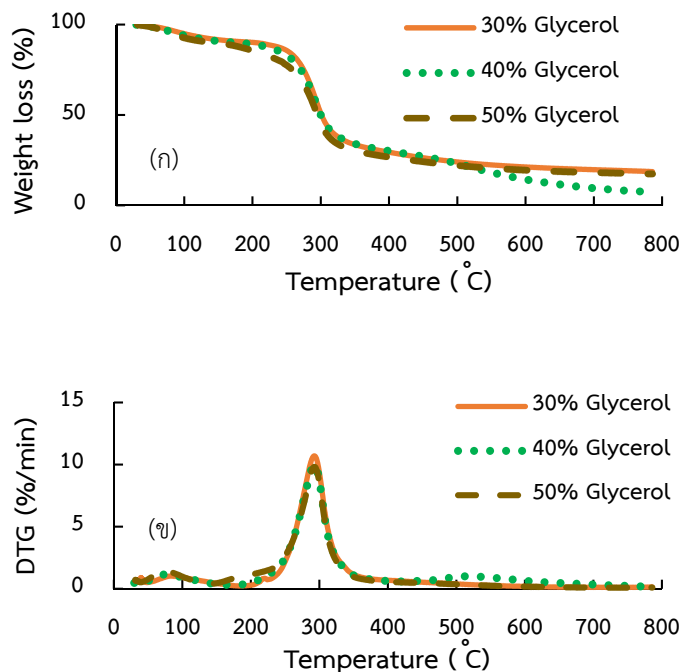
โดยทั่วไปค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มมีผลต่อความทนทานของฟิล์มต่อความเค้นตึงฉาก (Normal Stress) ของฟิล์มในระหว่างการใช้งาน การขนส่ง และการจัดการอาหาร ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร ส่วนค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นบ่งบอกถึงความแข็งของฟิล์ม (Stiffness) [9] จาก

การศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จาก 6.17 เป็น 2.70 เมกกะปาสกาล และจาก 113.75 เป็น 26.95 เมกกะปาสกาล ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะโมเลกุลของกลีเซอรอลเข้าไปแทรกสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ส่งผลให้มีการลดลงของแรง

ระหว่างโมเลกุล เกิดการเพิ่มปริมาตรอิสระ และเพิ่มการเคลื่อนตัวของสายโซ่ของพอลิเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง [11], [24] ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดพบว่ากลีเซอรอลทั้งสามความเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 22.83 ถึง 25.42 อย่างไรก็ตามที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 30 อาจเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน เนื่องจากฟิล์มที่ได้มีค่าความแข็ง (Stiffness) มาก เท่ากับ 2 ถึง 4 เท่าของฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 40 และ 50 งานวิจัยของ P. Theamdee และ K. Sooksamran [11] ได้รายงานว่าฟิล์มแป้งมันแกวที่มีการเติมกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 60 พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงและค่าการยืดตัวของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น

สมบัติทางกลของฟิล์ม LDPE ซึ่งเป็นฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์ พบว่า มีค่าการต้านทานแรงดึงอยู่

ในช่วง 9-17 เมกกะปาสคาล [31] ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดประมาณร้อยละ 500 [31] และมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 100-240 เมกกะปาสคาล [32] ซึ่งจากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติทางกลที่ดีกว่าฟิล์มจากแป้งมันเลือดที่เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ อย่างไรก็ตามฟิล์มจากแป้งมันเลือดมีค่าการต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมากกว่าฟิล์มจากแป้งพลาร์ข้าวแดง (0.55 เมกกะปาสคาล และ 12.71 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ) [29] และฟิล์มจากสตาร์ชข้าวแดง (1.29 เมกกะปาสคาล และ 19.08 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ) [29] ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าฟิล์มจากแป้งมันเลือดมีค่าน้อยกว่าฟิล์มจากแป้งพลาร์ข้าวแดง (ร้อยละ 28.29) [29] และฟิล์มจากสตาร์ชข้าวแดง (ร้อยละ 49.73) [29]



รูปที่ 2 กราฟ TGA ของฟิล์มบริโภคน้ำได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 40 และ 50

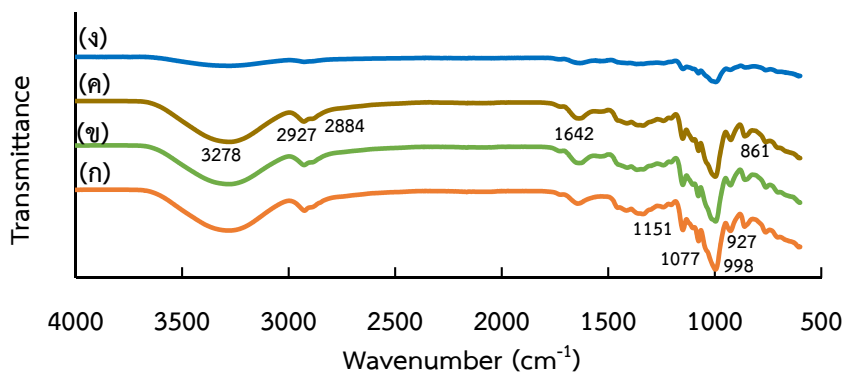
ความเสถียรทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มบริโภคน้ำได้จากแป้งมันเลือดที่ความ

เข้มข้นของกลีเซอรอลที่ร้อยละ 30 40 และ 50 โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA แสดงดังรูปที่ 2 โดยอุณหภูมิ

การสลายตัวของฟิล์มพบว่า มี 2 ชั้น คือชั้นแรกจะเกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำในตัวอย่าง และชั้นที่สองเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของแป้งและกลีเซอรอล [5], [33] ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวชั้นแรกที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 ถึง 130 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิที่พบในพีคแรกๆ ของกราฟ DTG อุณหภูมิชั้นที่สองมีค่าอยู่ในช่วง 263 ถึง 315 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากกราฟ DTG จะพบว่าคือพีคที่สองที่มียอดสูงสุด บ่งบอกถึงการสลายตัวมากที่สุดในช่วงนี้ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ C. Yokesahachart et al. [34] ที่ได้รายงานว่ามีฟิล์มบริโกลได้จากสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเสริมโปรตีนซินมีอุณหภูมิการสลายตัวชั้นแรกอยู่ในช่วง 30-150

องศาเซลเซียส และชั้นที่สองอยู่ในช่วง 150-390 องศาเซลเซียส

ฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่ระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ร้อยละ 30 และ 40 พบว่ามีความเสถียรทางความร้อนมากกว่าการเติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 50 เพียงเล็กน้อย (ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 500 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตามฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 40 ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 600 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปมากกว่าฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 30 และ 50 (รูปที่ 2) อย่างไรก็ตาม S. Pitiphatharaworachot และ B. Puangsin [24] ได้รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่มากขึ้นส่งผลให้ความเสถียรทางความร้อนของฟิล์มมีค่าต่ำลง



รูปที่ 3 เส้นสเปกตรัมของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 (ก) 40 (ข) 50 (ค) และแป้งมันเลือด (ง)

จากการศึกษาฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 40 และ 50 พบว่าสเปกตรัมที่ได้มีพีคที่ตำแหน่งคล้ายกัน (รูปที่ 3) โดยพบที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3278 2927 2884 1642 1353 1151 1077 998 927 และ 861  $\text{cm}^{-1}$  อย่างไรก็ตามพบว่าแป้งจากมันเลือดพบพีคที่ตำแหน่งคล้ายกันกับฟิล์ม แต่พีคของฟิล์มมี Amplitude ที่เด่นชัดมากกว่า

ของแป้ง โดยตำแหน่งเลขคลื่นที่ 3278  $\text{cm}^{-1}$  เกี่ยวข้องกับหมู่ไฮดรอกซิล หรือการยืด-หด (Stretching) ของพันธะ O-H ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 2927  $\text{cm}^{-1}$  และ 2884  $\text{cm}^{-1}$  เกี่ยวข้องกับการยืด-หด (Stretching) ของพันธะ C-H ในหมู่  $\text{CH}_2$  ส่วนเลขคลื่นที่ 1642  $\text{cm}^{-1}$  แสดงการงอ (Bending) ของพันธะ O-H พีคที่เลขคลื่น 1353  $\text{cm}^{-1}$  แสดงการงอ (Bending) ของพันธะ C-H ตำแหน่ง

เลขคลื่นที่  $1151\text{ cm}^{-1}$  แสดงการยืด-หด (Stretching) ของพันธะ C-O พิกที่เลขคลื่น  $1077\text{ cm}^{-1}$  และ  $861\text{ cm}^{-1}$  แสดงการยืด-หดแบบสมมาตร (Symmetric Stretching) ของ C-O-C พิกที่เลขคลื่น  $998\text{ cm}^{-1}$  และ  $927\text{ cm}^{-1}$  แสดงการอ (Blending) ของ C-O-H [35], [36] จากการศึกษาพบว่าพิกที่  $2884\text{ cm}^{-1}$  เป็นพิกใหม่ที่เกิดขึ้นที่ถูกลบในตัวอย่างฟิล์มทั้งสามความเข้มข้นของกลีเซอรอลเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของแป้งจากมันเลือด ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวเป็นเลขคลื่นที่พบในกลีเซอรอล [33] และพบว่าที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $3278\text{ cm}^{-1}$  มีค่าการดูดกลืนของปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณกลีเซอรอลในฟิล์มมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลมีโมเลกุลของหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ [11], [36] ทำให้การเติมในปริมาณมากส่งผลให้ในโครงสร้างของฟิล์มมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ที่ตำแหน่งดังกล่าวยังเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นของฟิล์มด้วย

#### 4. สรุป

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือด พบว่าปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลต่อค่าสี ความหนา ความโปร่งใส และค่าการยืดตัวของฟิล์ม แต่พบว่ามีผลต่อปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำ โมดูลัสของความยืดหยุ่น และค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์ม สมบัติทางความร้อนของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือด พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นแรกที่ 50 ถึง 130 องศาเซลเซียส และชั้นที่สองที่ 263 ถึง 315 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ พบว่าปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3278\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนของหมู่ไฮดรอกซิล ฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดที่เติมปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 30 พบว่า ฟิล์มมี

ความสามารถในการป้องกันการแพร่ผ่านไอน้ำที่ดีที่สุด แต่พบว่าฟิล์มมีความแข็ง (Stiffness) มากกว่าการเติมกลีเซอรอลที่ปริมาณร้อยละ 40 และ 50 ดังนั้น จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันเลือดในงานวิจัยนี้ พบว่า ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 40 และ 50 มีสมบัติของฟิล์มโดยรวมที่ดี ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อปกป้องและช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์การแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์ม

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Saraphi, P. Meekaew, Y. Tokeeree and C. Saraphi, "Species diversity of native edible tuber crop in Surin province," *PSRU Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 43-53, 2019.
- [2] S. Promdang, R. Homhual, M. Wongmaneeroj, R. Agarum and S. Jamjumrus, "Nutritional Constituents of Man Lueat (*Dioscorea alata*)" in *Proceeding of the 14<sup>th</sup> KU KPS Conference*, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 2017, pp. 19-27.
- [3] S. Jantathai, N. Toontom, P. klintach and C. Poking, "Effects of wheat flour

- replacement with taro, yam and purple sweet potato flours incorporated with black glutinous rice on qualities of muffin and consumer acceptance,” *The 13th Mahasarakham University Research Conference*, Mahasarakham University, Mahasarakham, 2017, pp. 650-656.
- [4] F. D. Wireko-Manu, W. O. Ellis, I. Oduro, R. Asiedu and B. Maziya-Dixon, “Physicochemical and pasting characteristics of water yam (*D. alata*) in comparison with pona (*D. rotundata*) from Ghana,” *European Journal of Food Research & Review*, vol. 1, no. 3, pp. 149-158, 2011.
- [5] M. L. Sanyang, S. M. Sapuan, M. Jawaidd, M. R. Ishak and J. Sahari, “Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch,” *Polymers*, vol. 7, no. 6, pp. 1106-1124, 2015.
- [6] P. Noiduang, L. Thawla and O. Pa-ai, “Study on Edible Film Production from Chinese Water Chestnuts Starch,” *Agricultural Science Journal*, vol. 46, no. 3, pp. 665-668, 2015.
- [7] A. Gennadios, C. L. Weller, M. A. Hanna and G. W. J. Froning, “Mechanical and barrier properties of egg albumen films,” *Food Science*, vol. 61, pp. 585-589, 1996.
- [8] N. Samsalee and R. Sothornvit, “Characterization of Food Application and Quality of Porcine Plasma Protein-Based Films Incorporated with Chitosan or Encapsulated Turmeric Oil,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 13, pp. 488-500, 2020.
- [9] N. Samsalee and R. Sothornvit, “Development and characterization of porcine plasma protein-chitosan blended films,” *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 22, pp. 100406, 2019.
- [10] M. Nouraddini, M. Esmaili and F. Mohtarami, “Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch,” *International journal of biological macromolecules*, vol. 120, pp.1639-1645, 2018.
- [11] P. Theamdee and K. Sooksamran, “Development of a Biodegradable Film from Jicama Starch (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) for Plant Bag Application,” *RMUTP Research Journal*, vol. 14, no. 1, 2020.
- [12] S. Mali, M. V. E. Grossmann, M. A. García, M. N. Martino and N. E. Zaritzky, “Mechanical and thermal properties of yam starch films,” *Food Hydrocolloids*, vol. 19, no. 1, pp. 157-164, 2015.
- [13] S. Mali, M. V. E. Grossmann, M. A. García, M. N. Martino and N. E. Zaritzky, “Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 56, no. 2, pp. 129-135, 2004.
- [14] T. J. Gutiérrez, M. S. Tapia, E. Pérez and L. Famá, “Structural and mechanical properties of edible films made from

- native and modified cush-cush yam and cassava starch,” *Food Hydrocolloids*, vol. 45, pp. 211-217, 2015.
- [15] A. M. Durango, N. F. F. Soares, S. Benevides, J. Teixeira, M. Carvalho, C. Wobeto and N. J. Andrade, “Development and evaluation of an edible antimicrobial film based on yam starch and chitosan,” *Packaging Technology and Science: An International Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 55-59, 2006.
- [16] R. Ratnaningsih, N. Richana, S. Suzuki and Y. Fujii, “Effect of Soaking Treatment on Anthocyanin, Flavonoid, Phenolic Content and Antioxidant Activities of *Dioscorea alata* Flour,” *Indonesian Journal of Chemistry*, vol. 18, no. 4, pp. 656-663, 2018.
- [17] N. Charoenphun, “Development of Cookie Products from Sweet Potato,” *Journal of Food Technology, Siam University*, vol. 13, no. 1, pp. 32-43, 2018.
- [18] A. Gennadios, C. L. Weller, M. A. Hanna and G. W. J. Froning, “Mechanical and barrier properties of egg albumen films,” *Food Science*, vol. 61, pp. 585-589, 1996.
- [19] J. H. Han and J. D. Floros, “Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity,” *Journal of Plastic Film and Sheeting*, vol. 13, pp. 287-298, 1997.
- [20] Association of Official Analytical Chemists (AOAC), *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [21] N. Cao, Y. Fu and J. He, “Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films,” *Food Hydrocolloids*, vol. 21, no. 7, pp.1153-1162, 2007.
- [22] ASTM, Designations D882. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 1997.
- [23] S. Khairunnisa, J. Junianto, Z. Zahidah and I. Rostini, “The effect of glycerol concentration as a plasticizer on edible films made from alginate towards its physical characteristic,” *World Scientific News*, vol. 112, pp. 130-141, 2018.
- [24] S. Pitiphatharaworachot and B. Puangsin, “Effect of Glycerol on Physical and Thermal Properties of Tapioca Starch Films,” in *Proceeding of the 55th Kasetsart University Annual Conference*, Kasetsart University, Bangkok, 2017, pp. 786-793.
- [25] R. Chindapan and W. Faiphet, “Effects of Plasticizers on Tensile Strength, Oil Resistance and Solubility of Mung Bean Protein Films,” *Journal of Food Technology, Siam University*, vol. 2, no. 1, pp. 36-44, 2006.
- [26] R. Sothornvit and J. M. Krochta, “Plasticizers in edible films and coatings,” in *Innovations in food packaging*, J. H. Han, 1st ed. London: Academic Press, 2005, pp. 403-433.

- [27] T. Sukkasem, K. Buranachokpaisan and K. Anukulwattana, "Mechanical and physical properties of edible film from corn husk waste (*Zea mays* Linn.)," *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 45, pp. 1222-1228, 2017.
- [28] T. H. Shellhammer and J. M. Krochta, "Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount," *Journal of Food Science*, vol. 62, no. 2, pp. 390-394, 1997.
- [29] C. G. Vargas, T. M. H. Costa, A. O. Rios and S. H. Flôres, "Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch," *Food Hydrocolloids*, vol. 65, pp. 96-106, 2017.
- [30] S. S. Sablani, F. Dasse, L. Bastarrachea, S. Dhawan, K. M. Hendrix and S. C. Min, "Apple peel-based edible film development using a high-pressure homogenization," *Journal of food science*, vol. 74, no. 7, pp. 372-381, 2009.
- [31] J. H. Briston, *Plastics Films*, 3rd ed. England: Longman Scientific & Technical, 1989.
- [32] K. W. Doak, "Ethylene polymers," in *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, J. I. Kroschwitz, Ed. New York, MA: John Wiley and Sons, 1986, pp. 413-414.
- [33] H. M. Wilhelm, M. R. Sierakowski, G. P. Souza and F. Wypych, "Starch films reinforced with mineral clay," *Carbohydrate Polymers*, vol. 52, no. 2, pp. 101-110, 2003.
- [34] C. Yokesahachart, B. Chardchopowpong, S. Niramitmahapanja, S. Pajareon and P. Yokesahachart, "Study on Physical and Thermal Properties of Edible Films from Modified Cassava Starch Incorporated with Zein Protein," *Journal of Food Technology, Siam University*, vol. 14, no. 1, pp. 58-68, 2019.
- [35] G. M. Raghavendra, J. Jung and J. Seo, "Step-reduced synthesis of starch-silver nanoparticles," *International journal of biological macromolecules*, vol. 86, pp. 126-128, 2016.
- [36] G. Abera, B. Woldeyes, H. D. Demash and G. Miyake, "The effect of plasticizers on thermoplastic starch films developed from the indigenous Ethiopian tuber crop Anchote (*Coccinia abyssinica*) starch," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 155, pp. 581-587, 2020.