

# ผลของระดับกลีเซอรินต่อคุณภาพฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งข้าวหอมมะลิ

## Effects of glycerin level on quality of biodegradable film from thai jasmine rice flour

ประยูร จอมหล้าพิรติกุล<sup>1\*</sup>, ละมุล วิเศษ<sup>2</sup>, อาภาภรณ์ จอมหล้าพิรติกุล<sup>1</sup>, ภุชิสส์ ตันวานิชกุล<sup>1</sup>  
และ ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ<sup>1</sup>

Prayoon Jomlaperatikul<sup>1\*</sup>, Lamul Wiset<sup>2</sup>, Apapon Jomlaperatikul<sup>1</sup>, Bhuchiss Tanwanichkul<sup>1</sup>  
and Chainarong Lomchangkum<sup>1</sup>

Received: 29 August 2022 ; Revised: 23 November 2022 ; Accepted: 14 December 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีในการขึ้นรูปของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม ใช้แป้งข้าวหอมมะลิเป็นสารตั้งต้นในการขึ้นรูปฟิล์ม ใช้กลีเซอรินเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่ปริมาณ 0.75, 1.5 และ 2.25% W/W ตามลำดับ โดยทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ การต้านแรงดึง การยืดตัวของฟิล์ม และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี การละลายน้ำ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ประยุกต์การห่อหุ้มอาหารด้วยการบรรจุบิสกิต และหาร้อยละการย่อยสลายของฟิล์ม ผลการทดลอง พบว่าการต้านแรงดึงมีค่าสูงเมื่อปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ค่าสีโดยรวมมีค่าเฉลี่ย  $L^*=77.98\pm 1.20$ ,  $a^*=-1.58\pm 0.22$  และ  $b^*=7.35\pm 0.55$  การยืดตัว การละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของกลีเซอริน ความชื้นของฟิล์มอยู่ระหว่าง 8.68±0.69 - 10.59±0.83 %db เมื่อทำการทดสอบบรรจุกับผลิตภัณฑ์บิสกิต พบว่าฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรินสูง ส่งผลให้ความชื้นของบิสกิตมีค่าสูงตามและความกรอบลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถชะลอการซึมผ่านของไอน้ำเข้าสู่บิสกิตได้ดีกว่า ส่งผลให้คงความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ฟิล์มที่เติมปริมาณกลีเซอรินสูงใช้เวลาในการย่อยสลายสั้น ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งข้าวหอมมะลิ สามารถประยุกต์ใช้เพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ทางชีวภาพเพื่อทดแทนวัสดุสังเคราะห์ เพื่อช่วยลดปริมาณขยะที่ย่อยสลายได้ยากในอนาคตต่อไปได้

**คำสำคัญ:** ฟิล์มย่อยสลายได้ แป้งข้าวหอมมะลิ การอบแห้ง

### Abstract

This research aimed to study the forming process impacting film properties. The film formation was based on Thai jasmine rice flour with using glycerin as a plasticizer in amounts of 0.75, 1.5 และ 2.25% W/W respectively. The comparison between hot air drying machine and heat pump drying machine, at 35 degree celsius was conducted. Mechanical properties: Tensile strength and elongation; physical properties: color, solubility, water vapor permeability, their application as biscuit packaging; and percentage of degradability were examined. The result showed that the decrease of tensile strength correlated to increased amount of glycerin. Also, the average color values were  $L^*=77.98\pm 1.20$ ,  $a^*=-1.58\pm 0.22$  and  $b^*=7.8\pm 0.55$ . The elongation, solubility and water vapor permeability rate increased when the amount of glycerin rose. The moisture contents of the film were between 8.68±0.69 and 10.59±0.83%db. The study also found that when it was used for biscuit packaging, the film with high glycerin led to the greater moisture of biscuit, and the lower crispiness. When comparing between hot air dryer and heat pump dryer, the finding showed that heat pump

<sup>1</sup> อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จ.ขอนแก่น, 40000

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Food and Biological Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Khon Kean, 40000, Thailand

<sup>2</sup> Assistance Professor, Department of Biological Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand

\* Corresponding author; e-mail address: prayoon.jo@muti.ac.th

drying machine was able to better delay water vapor permeability into biscuit. Biodegradable film from Thai jasmine rice flour with high glycerin degraded in shorter time. It can be applied to bio-based packaging production in order to substitute the synthetic, which can reduce indecomposable waste in the future.

**Keywords:** Biodegradable film, Jasmine Rice Flour, Drying

## บทนำ

ปัจจุบันการใช้ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable films) สำหรับการบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีจุดประสงค์ คือ ยืดอายุการเก็บรักษา ป้องกันการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์อาหาร อีกทั้งยังใช้ทดแทนพลาสติกจากการสังเคราะห์ทางปิโตรเคมี ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมภายหลังการใช้งาน โดยทั่วไปฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะใช้พอลิเมอร์ชีวภาพเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในการขึ้นรูปฟิล์ม เช่น โพรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ ไชมัน รวมทั้งฟิล์มที่ขึ้นรูปจากพอลิเมอร์หลายๆ ชนิดร่วมกัน ที่เรียกว่าฟิล์มคอมโพสิต (รังสิณี ไสธรรวิทย์, 2560) การใช้พอลิเมอร์จากวัสดุเกษตรเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ หลงเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร โดยการนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้ เป็นการเพิ่มมูลค่า ช่วยลดปัญหาทางด้านขยะ และลดมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ข้าวหอมมะลิเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกกระจายทั่วประเทศ โดยเฉพาะแถบภาคอีสานในเขตพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นพื้นที่ครอบคลุม 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด สุรินทร์ มหาสารคาม ยโสธร และจังหวัดศรีสะเกษ ถือได้ว่าเป็นแหล่งผลิตที่ได้คุณภาพสูง ด้วยเอกลักษณ์ของข้าวหอมมะลิที่มีความหอม นุ่ม จึงทำให้เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ปัจจุบันมีการส่งออกข้าวหอมมะลิประมาณ 10.39 ล้านตันต่อปี (สำนักมาตรฐานสินค้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ, 2564) ทั้งนี้ยังไม่รวมการบริโภคภายในประเทศ ในการแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสารจากข้าวเปลือก 1 ตัน หรือ 1,000 กิโลกรัม เมื่อทำการแปรรูปแล้วได้เนื้อข้าวเฉลี่ย 660 กิโลกรัม นอกจากนั้นเป็นรำข้าวขาว 80 กิโลกรัม รำข้าวกล้อง 30 กิโลกรัม และแกลบในปริมาณ 230 กิโลกรัม ตามลำดับ (หมอเกษตร ทองกวาว, 2562) ซึ่งจากการแปรรูปข้าวนั้น เนื้อข้าวถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่นำไปบริโภคในรูปแบบต่างๆ แต่มีการแบ่งลำดับชั้นของเนื้อข้าวออกเป็นชั้นๆ และมูลค่าการซื้อขายก็ต่างกัน ซึ่งปลายข้าวเป็นลำดับชั้นล่างสุดของการแบ่งชั้นของเมล็ดข้าว มีราคาค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่จะใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ทำไอ้จ๊ก หรือทำขนม เป็นต้น

การนำผลิตภัณฑ์จากส่วนปลายข้าวมาผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นที่น่าสนใจสำหรับนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์ใน

ยุคปัจจุบัน ซึ่งสามารถนำมาทดแทนการใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกได้ การใช้แป้งข้าวเป็นพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวจะส่งผลให้ฟิล์มมีสมบัติที่เปราะ ฉีกขาดง่าย ไม่เหมาะแก่การใช้งาน จึงจำเป็นต้องมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านต่างๆ ให้กับฟิล์ม (Sothornvit and Krochta, 2000) รวมถึงกรรมวิธีในการขึ้นรูปฟิล์ม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของฟิล์มด้วย โสภิตา วิศาลศักดิ์กุล และคณะ (2559) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ฟิล์มแป้งเมล็ดขนุน โดยใช้กลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดี มีความยืดหยุ่นและเกาะตัวดี อัจจิมา อุณแก้ว และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาฟิล์มย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าฟิล์มสามารถลดการสูญเสียน้ำและชะลอระยะเวลาเหี่ยวของผิวของมะเขือเทศได้

การขึ้นรูปฟิล์มมีกระบวนการขึ้นรูปอยู่หลายวิธี เช่น วิธีการจุ่ม การฉีดพ่น การทา และการหล่อหุ้ม (รังสิณี ไสธรรวิทย์, 2560) ซึ่งแต่ละกระบวนการขึ้นรูป มีกรรมวิธีและจุดประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air oven) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากและใช้พลังงานในการอบให้ที่ต่ำ แต่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นาน เนื่องจากภายในห้องอบแห้งมีการไหลเวียนของอากาศน้อย ทำให้การลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ทำได้ช้า การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน (Heat pump dryer) เป็นอีกวิธีที่ใช้เทคนิคในการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำได้อย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น และไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากการอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นการอบแห้งที่มีกระบวนการดึงความชื้นภายในห้องอบแห้งสู่ภายนอกตลอดเวลา ส่งผลให้ต้นทุนกำลังของเครื่องอบแห้งทำงานตลอดระยะเวลาการอบแห้ง ทำให้มีการใช้พลังงานในการอบแห้งที่สูง (ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 2555)

## วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการขึ้นรูปฟิล์มที่เตรียมจากแป้งข้าวหอมมะลิด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันโดยใช้กลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซอร์ ขึ้นรูปฟิล์มด้วยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และเพื่อศึกษาสมบัติทางกล สมบัติทางกายภาพของฟิล์ม และนำไปประยุกต์โดยเน้นบรรจุภัณฑ์ห่อหุ้มอาหารต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองเป็นแบบ 2x3 factorial in CRD โดยปัจจัยหลักเป็นการอบแห้งทั้ง 2 แบบ คือ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ บั้มความร้อน ปัจจัยรองเป็นปริมาณกลีเซอริน มี 3 ระดับ ได้แก่ 0.75, 1.5 และ 2.25% W/V วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) เพื่อดูอิทธิพลของปัจจัยและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม ที่ศึกษา ใช้โปรแกรม SPSS Version 15.0

### 1. การเตรียมฟิล์ม

โดยประยุกต์จากภาวิณี เทียมดี และกวีนา สุขสำราญ, (2563)

1.1 การเตรียมฟิล์ม โดยนำแป้งข้าวหอมมะลิปริมาณ 2.5% W/V ค่อยๆ เทลงในน้ำกลั่น และกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

1.2 เติมน้ำตาล 0.25% W/V และอัลจินต 0.75% W/V กวนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

1.3 เติมกลีเซอรินปริมาณต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.75, 1.5 และ 2.25% W/V กวนเป็นเวลา 20 นาที

1.4 นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ปริมาณ 60 กรัม เทส่วนผสมลงบนถาดเคลือบผิวเรียบขนาด 163x246 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งแบบบั้มความร้อน ทำการอบแห้งจนฟิล์มเหลือความชื้นสุดท้าย 8-12% db (เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนใช้เวลา 24 ชั่วโมง และเครื่องอบแห้งแบบบั้มความร้อนใช้เวลา 6 ชั่วโมง) ทิ้งให้เย็น ลอกแผ่นฟิล์มออกจากถาด เก็บไว้ในโถความชื้นเพื่อรอการทดสอบต่อไป

### 2. การทดสอบสมบัติของฟิล์ม

#### 2.1 การวัดค่าสี (Color)

การวัดค่าสี ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter lab รุ่น color flex EZ ทำการวัดค่าสีใน ระบบสี CIE L\*, a\*, b\* โดยที่

ค่า L\* คือ ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว

ค่า a\* คือสีเขียว (-a\*) จนถึงสีแดง (+a\*)  
ค่า b\* คือสีน้ำเงิน (-b\*) จนถึงสีเหลือง (+b\*) ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

#### 2.2 การวัดความหนา (Thickness)

การวัดความหนาใช้ไมโครมิเตอร์ทศนิยม 3 ตำแหน่ง ในการวัดค่าความหนาของฟิล์ม โดยสุ่มวัด 6 จุดทั่วทั้งแผ่นของฟิล์มบันทึกผล ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 2.3 การทดสอบปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาดชิ้นเล็กๆ ปริมาณ 1 กรัม นำเข้าทดสอบความชื้นด้วยเครื่องทดสอบ Moisture Analyzers รุ่น MX-50 บันทึกผล ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 2.4 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical property)

การทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มแป้งข้าวหอมมะลิ ได้แก่ การต้านทานแรงดึง (Tensile strength, TS) และร้อยละการยืดตัว (% Elongation,) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D882 (1995) โดยใช้เครื่อง Universal testing machine ยี่ห้อ LLOYD LRX Plus ประยุกต์ตามวิธีของกมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ (2553) โดยใช้หัววัดแรงขนาด 50 นิวตัน ในการวัดค่าการทดสอบ ตัวอย่างในการทดสอบมีขนาด 25.4x100 มิลลิเมตร ความยาวช่วงทดสอบ 60 มิลลิเมตร และความเร็วในการดึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการทำทดสอบการต้านแรงดึงหาได้จาก สมการที่ 1

$$TS = \frac{\text{Max force}}{\text{Film area}} \quad (1)$$

โดยที่

TS = ค่าการต้านแรงดึง (N/m<sup>2</sup>)

Max force = ค่าแรงดึงสูงสุด (N)

Film area = พื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม (m<sup>2</sup>)

ค่าร้อยละการยืดตัวหาได้จาก สมการที่ 2

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

โดยที่

$\epsilon$  = ร้อยละการยืดตัว

$\delta$  = ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (mm)

L = ความยาวช่วงทดสอบ (mm)

### 2.5 การทดสอบสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate: WVTR)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ทำการดัดแปลงตามวิธีของกมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ และอดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, (2543) ขั้นตอนการทดสอบอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มมีดังนี้

1) เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ลงในภาชนะกระป๋องอลูมิเนียม ทำการปิดปากกระป๋องด้วยแผ่นฟิล์มที่ต้องการทดสอบพร้อมปิดเทปกาวให้แนบสนิทและขังบันทึกน้ำหนัก

2) นำกระป๋องอลูมิเนียมวางในโถดูดความชื้น (Desiccator) ที่บรรจุซิลิกาเจล ปิดฝาโถให้สนิท

3) นำกระป๋องอลูมิเนียมออกมาบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

4) ใช้น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียไปกับเวลาแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการซึมผ่านไอน้ำตามสมการที่ 3

$$WVTR = \frac{\text{Slope}}{\text{Film area}} \quad (3)$$

โดยที่

WVTR = อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/(m<sup>2</sup>×day))

Slope = น้ำหนักที่สูญเสียต่อเวลา (g/day)

Film area = พื้นที่ของฟิล์มที่ไอน้ำซึมผ่าน (m<sup>2</sup>)

### 2.6 การทดสอบการละลายน้ำ (Solubility)

การทดสอบการละลายน้ำของฟิล์มดัดแปลงการทดสอบตามวิธีของ Margarita *et al.*, (2012) ขั้นตอนการทดสอบการละลายน้ำของฟิล์ม

1) ทำการอบแห้งฟิล์มที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พักให้เย็นเพื่อทำการชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์ม (W<sub>1</sub>)

2) ตัดแผ่นฟิล์มเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำฟิล์มไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร พร้อมทั้งกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายนาน 1 ชั่วโมง ทำการกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman No.4 ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (a<sub>1</sub>) นำกระดาษกรองที่มีฟิล์มไม่ละลายไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรอง (a<sub>2</sub>) คำนวณร้อยละการละลายน้ำของฟิล์ม การหาค่าการละลายน้ำของฟิล์มสามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$\% \text{Solubility} = \frac{W_1 \cdot (a_2 - a_1)}{W_1} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

W<sub>1</sub> = น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม (กรัม)

a<sub>1</sub> = น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนอบ (กรัม)

a<sub>2</sub> = น้ำหนักของกระดาษกรองหลังอบ (กรัม)

### 2.7 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

เตรียมแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 2x5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำไปฝังดินที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 20 ในกะบะขนาด 30x40 เซนติเมตร ที่ความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร ทดสอบในที่ร่มไม่มีการให้น้ำเป็นเวลา 2 สัปดาห์ นำแผ่นฟิล์มทำความสะอาดและชั่งน้ำหนัก หาค่าร้อยละการย่อยสลายจากสมการ (Dang *et al.*, 2016)

$$\% \text{ Degradable} = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่

A = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มเริ่มต้น (กรัม)

B = น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหลังการย่อยสลาย (กรัม)

### 3. การประยุกต์การใช้ฟิล์มในการบรรจุอาหาร

#### 3.1 การประยุกต์การใช้ฟิล์มย่อยสลายได้

โดยการใช้ฟิล์มบรรจุแผ่นบิสกิต (ความชื้นเริ่มต้น 5.03%db) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ปิดผนึกโดยรอบด้วยความร้อน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 10 วัน เพื่อทำการหาค่าความกรอบและความชื้นของบิสกิตภายหลังการเก็บรักษาการประยุกต์ใช้ฟิล์มบรรจุอาหาร แสดงดัง Figure 1

#### 3.2 การทดสอบค่าความกรอบของบิสกิต

การทดสอบความกรอบโดยใช้หลักการทดสอบแบบกดทะลุ โดยบันทึกค่าที่แผ่นบิสกิตเริ่มแตก ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine



Figure 1 Film Application for packaging

### 3.3 การทดสอบค่าความชื้นของของบิสกิต

นำบิสกิตที่ได้จากการเก็บรักษาตามเงื่อนไขการทดสอบหาความชื้นของบิสกิตด้วยเครื่อง Moisture Analyzers รุ่น MX-50

#### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$

#### ผลและวิจารณ์การทดลอง

ฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวหอมมะลิมีลักษณะสีขาว ผิวด้านที่สัมผัสกับแผ่นออลิกลีมีลักษณะเรียบและผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศมีลักษณะขรุขระ เนื่องจากผิวที่สัมผัสกับอากาศมีการระเหยตัวของน้ำในสารละลายฟิล์มออกสู่ผิวของฟิล์มระหว่างการอบแห้ง ส่งผลทำให้ผิวฟิล์มมีความขรุขระไม่เรียบ ฟิล์มที่ได้จากการอบแห้งแสดงดัง Figure 2



Figure 2 Biodegradable Film from Thai Jasmine Rice Flour

#### 1. ผลการทดสอบสมบัติของฟิล์ม

การทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ปริมาณกลีเซอรินและกรรมวิธีการอบแห้งต่างกัน แสดงดัง Table 1

##### 1.1 ค่าสี

เนื่องด้วยข้าวหอมมะลิมีเอกลักษณ์ที่มีสีค่อนข้างขาว ฟิล์มที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมมะลิจึงมีลักษณะสีขาวตามลักษณะของแป้งที่นำมาผลิต ซึ่งกรรมวิธีการอบแห้ง และปริมาณกลีเซอรินที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อสีของฟิล์ม

##### 1.2 ความหนา

ผลของความหนาของฟิล์ม พบว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรินและชนิดของกรรมวิธีในการทำแห้งไม่ส่งผลต่อความหนาของฟิล์มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

### 1.3 ความชื้น

ความชื้นของฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอริน 2.25% W/V มีความชื้นสูงกว่าฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอริน 0.75 และ 1.5% W/V ในกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กรรมวิธี ซึ่งปริมาณความชื้นที่สูงนี้อาจเนื่องจากกลีเซอรินเป็นสารที่มีโมเลกุลที่มีขั้ว (polar molecule) ซึ่งมีสมบัติที่ชอบน้ำ และละลายน้ำได้ดี (hydrophilic) ส่งผลทำให้ฟิล์มสะสมความชื้นได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ Mohammad *et al.* (2013) ได้อธิบายถึงกลีเซอรินทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นและยังสะสมโมเลกุลของน้ำได้เป็นอย่างดี เป็นผลทำให้มีความชื้นสูงในฟิล์มที่มีปริมาณของกลีเซอรินเพิ่มขึ้น

#### 1.4 สมบัติทางกล

ฟิล์มที่เติมปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการต้านแรงดึงลดลงส่วนค่าการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ทั้ง 2 กรรมวิธีในการอบแห้ง สอดคล้องกับรายงานของ Mohammad *et al.*, (2013) ได้ศึกษาผลของกลีเซอรินต่อฟิล์มที่ผลิตจากเมล็ดเทียนแดง (cress seed) รายงานว่าฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความต้านแรงดึงลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณกลีเซอรินเป็นการเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์ม ทำให้โมเลกุลของกลีเซอรินแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์ ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของแป้งน้อยลง ฟิล์มจะมีความเหนียว ยืดหยุ่น ค่าการยืดตัวสูง ส่วนค่าแรงต้านการดึงมีค่าน้อยลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งทั้ง 2 กรรมวิธี พบว่าการต้านแรงดึงและการยืดตัวของฟิล์มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 1.5 สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรินที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากกลีเซอรินเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกผ่านช่องว่างระหว่างโมเลกุลได้ง่ายกว่าทำให้ไอน้ำซึมผ่านได้ดี ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการอบแห้งมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) พบว่าฟิล์มที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนจะมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อน เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่า และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งที่สูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อน ทำให้สารละลายฟิล์มมีระยะเวลาในการรวมตัวกันระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์และกลีเซอรินในระหว่างกระบวนการอบแห้งได้นานกว่า ส่งผลให้กลีเซอรินแทรกซึมอยู่ในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้มากและไอน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ดีกว่า (Margarita *et al.*, 2012)

**1.6 การละลาย**

การเพิ่มขึ้นของปริมาณกลีเซอรินส่งผลให้ การละลายของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องจาก กลีเซอรินเป็นสารที่ไม่มีเลกุลที่ชอบน้ำ ทำให้การแทรกซึมของโมเลกุลของน้ำ ได้สามารถเข้าสู่โครงสร้างระหว่างช่องว่างของพอลิเมอร์ของฟิล์มได้ดี สอดคล้องกับ Asgar *et al.*, (2013) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณกลีเซอรินช่วยเพิ่มการละลายของฟิล์มสตาร์ชจากแป้งข้าวสาลีได้ดี ซึ่งกระบวนการอบแห้งทั้ง 2 กรณี การละลายของฟิล์มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีร้อยละการละลายที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน อาจเนื่องจากกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการอบแห้งที่ต่ำ ใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้กลีเซอรินมีการแทรกซึมช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์ได้ดีกว่า เช่นเดียวกับ Tapia *et al.*, (2013) รายงานเกี่ยวกับอัตราการอบแห้งที่สูง ส่งผลให้การละลายที่ลดลง

**1.7 การทดสอบการย่อยสลาย**

การย่อยสลายของฟิล์ม ฟิล์มที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการอบแห้ง พบว่าฟิล์มเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติดัง Figure 3 และร้อยละการย่อยสลายดัง Table 1 ฟิล์มที่เติมกรีเซอรินสูงจะมีการย่อยสลายได้ดีกว่า อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) การเพิ่มกรีเซอรินเป็นการเพิ่มสมบัติการดูดซับความชื้นให้กับแผ่นฟิล์ม ทำให้แผ่นฟิล์มดูดซับความชื้นที่อยู่ในดินเข้าสู่ภายในแผ่นฟิล์มทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น



Figure 3 After biodegradable of film

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pawinee and Thanyalak, (2019) ทดสอบการใช้กลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อยืดอายุกล้วยน้ำว้า พบว่าการย่อยสลายเกิดขึ้นเร็วตามปริมาณ

กลีเซอรินที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การทดสอบการย่อยสลายของฟิล์ม หากมีการทดสอบในพื้นที่ที่เป็นดินตามธรรมชาติ อาจทำให้เกิดการย่อยสลายของฟิล์มได้มากขึ้น เนื่องจากในดินตามพื้นที่ธรรมชาติ นอกจากจะมีจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายแล้ว ยังมีสิ่งมีชีวิตต่างๆ จำนวนมากที่สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

**2. การประยุกต์การใช้ฟิล์มย่อยสลายได้**

จากการใช้แผ่นฟิล์มประยุกต์ในการบรรจุภัณฑ์ โดยการบรรจุบิสกิตดัง Figure 1. การขึ้นรูปฟิล์มด้วยกรรมวิธีทั้ง 2 กรรมวิธี พบว่าค่าความกรอบของแผ่นบิสกิตจะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ในทางตรงข้าม ค่าความชื้นในแผ่นบิสกิตมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลาความชื้นสามารถแทรกซึมผ่านแผ่นฟิล์มเข้าสู่บิสกิตได้มากตามระยะเวลาที่เก็บรักษา การอบแห้งด้วยลมร้อน ค่าความกรอบจะลดลงที่ปริมาณกลีเซอรินสูง และระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณกลีเซอรินส่งผลทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่สูง ทำให้ความชื้นสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มเข้าสู่บิสกิตได้ดีกว่า และกรรมวิธีการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่น้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนตามรายงานข้างต้น ส่งผลให้ค่าความกรอบโดยรวมมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

สำหรับค่าความกรอบและค่าความชื้นของบิสกิตที่ปริมาณกลีเซอรินต่างๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาแสดงดัง Figure 4-7

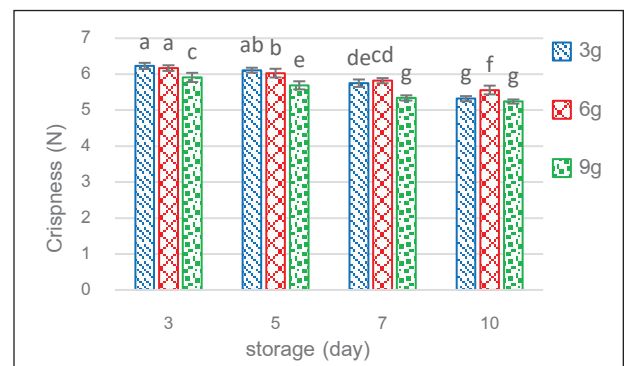


Figure 4 Crispness of biscuit with hot air oven.

<sup>a,b,c</sup> The different letters are mean significant differences between sample during storage periods ( $p < 0.05$ ).

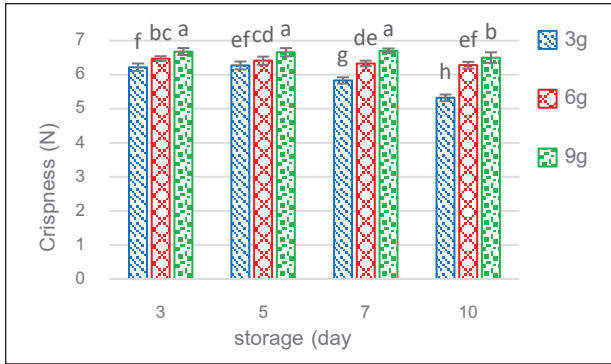


Figure 5 Crispness of biscuit with heat pump dryer.

<sup>a,b,c</sup> The different letters are mean significant differences between sample during storage periods (p<0.05).

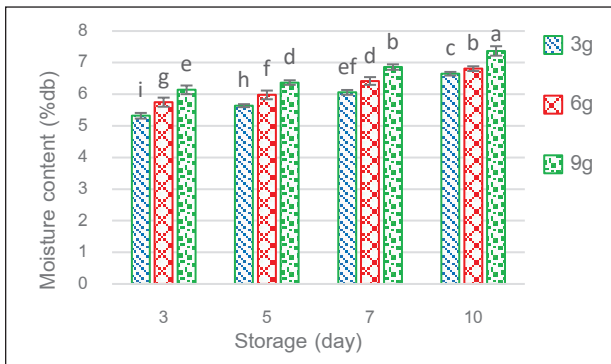


Figure 6 Moisture content of biscuit with hot air oven.

<sup>a,b,c</sup> The different letters are mean significant differences between sample during storage periods (p<0.05).

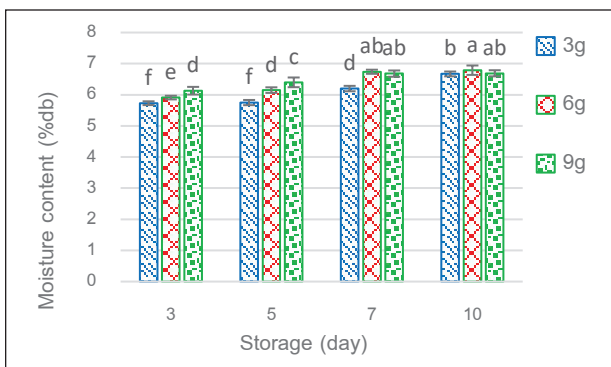


Figure 7 Moisture content of biscuit with heat pump dryer.

<sup>a,b,c</sup> The different letters are mean significant differences between sample during storage periods (p<0.05).

**สรุปผล**

ฟิล์มจากแป้งข้าวหอมมะลิ สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อนทั้งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน การพัฒนาปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่นในการเตรียมฟิล์ม พบว่าปริมาณกลีเซอรินมีผลต่อสมบัติของฟิล์ม โดยการเพิ่มปริมาณกลีเซอรินส่งผลทำให้ค่าความชื้น การยืดตัว การซึมผ่านไอน้ำและการละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรินที่เพิ่มขึ้น ส่วนการต้านแรงดึงฟิล์มจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรินในการเตรียมฟิล์ม

กรรมวิธีในการอบแห้ง ฟิล์มที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ซึ่งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ความชื้นในสารละลายฟิล์มสามารถระเหยออกได้ไวกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านไอน้ำและการละลายน้ำของฟิล์มได้ดีกว่า ในส่วนของค่าความหนา ความชื้น การต้านแรงดึง การยืดตัว และการย่อยสลายของฟิล์ม กรรมวิธีในการอบแห้งทั้ง 2 กระบวนการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน

ทางด้านการประยุกต์การใช้งาน โดยการใช้ฟิล์มในการบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อการเก็บรักษา ซึ่งการเพิ่มปริมาณกลีเซอรินในการเตรียมฟิล์มมีผลทำให้ความชื้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถป้องกันความชื้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์คงความกรอบนานกว่า และการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (35 องศาเซลเซียส) ไม่ส่งผลต่อค่าสีของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มมีสีเป็นไปตามสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม

**กิตติกรรมประกาศ**

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตามสัญญาเลขที่ ENG03/65 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร และชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

**Table 1** properties of biodegradable film from Thai jasmine rice flour

process drying	glycerin (g)	thickness (mm) NA	moisture (%db)	resistance to tensile (N/m <sup>2</sup> )	elongation (mm)	water vapor permeability (g/m <sup>2</sup> ·day)	water solubility (%)	degradation (%)	color measurement (NA)		
									L*	a*	b*
Dry with hot wind	3	0.26±0.02	8.68±0.69 <sup>b</sup>	337.41±7.85 <sup>ab</sup>	8.28±1.7 <sup>7b</sup> c	353.25±10.20 <sup>c</sup>	76.88±5.24 <sup>c</sup>	55.19±8.37 <sup>d</sup>	79.8±1.79	-1.7±0.50	6.4±1.10
	6	0.27±0.01	9.22±0.57 <sup>b</sup>	301.19±10.50 <sup>bc</sup>	9.61±1.29 <sup>b</sup>	418.54±11.40 <sup>b</sup>	84.27±6.71 <sup>b</sup>	64.88±10.20 <sup>bc</sup>	77.3±1.32	-1.3±0.34	7.6±1.15
	9	0.29±0.02	10.59±0.83 <sup>a</sup>	290.70±22.41 <sup>c</sup>	11.67±1.25 <sup>a</sup>	450.18±16.90 <sup>a</sup>	91.64±6.38 <sup>a</sup>	67.06±11.53 <sup>ab</sup>	78.5±1.51	-1.9±0.4	7.3±0.53
Dry with heat pump	3	0.27±0.02	8.91±0.84 <sup>b</sup>	354.67±16.32 <sup>a</sup>	6.95±1.39 <sup>c</sup>	247.16±11.92 <sup>a</sup>	63.68±6.10 <sup>d</sup>	61.94±10.68 <sup>c</sup>	76.5±1.39	-1.7±0.51	7.9±0.76
	6	0.30±0.02	9.30±0.83 <sup>b</sup>	290.02±21.97 <sup>c</sup>	8.18±1.65 <sup>bc</sup>	282.14±16.34 <sup>d</sup>	73.97±8.02 <sup>c</sup>	63.40±7.84 <sup>c</sup>	78.6±1.99	-1.5±0.36	7.1±0.75
	9	0.28±0.02	10.49±1.0 <sup>a</sup>	269.26±21.91 <sup>c</sup>	11.60±1.26 <sup>a</sup>	342.77±15.35 <sup>c</sup>	84.87±8.78 <sup>b</sup>	69.26±10.16 <sup>a</sup>	77.2±1.70	-1.4±0.33	7.8±0.52

<sup>a,b,c</sup> The different letters in the same column are statistically significant different (p<0.05)

**เอกสารอ้างอิง**

กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ. (2553). ผลของซินไฮโดรไลเซทต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มแป้งบุก. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*, 30(1), 81-89.

กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ และอดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. (2543). ฟิล์มแป้งบุกชนิดบริโภาคได้: การเตรียม สมบัติบางประการ และการนำไปใช้ประโยชน์. *อาหาร*, 30(1), 44-51.

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. (2555). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน: การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 35(2), 269-283.

ภาวิณี เทียมดี และกวิณา สุขสำราญ. (2563). การพัฒนาฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันแกวเพื่อประยุกต์ใช้เป็นถุงเพาะชำ. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, 14(1), 1-14.

รังสิณี โสธรวิทย์. (2560). *ฟิล์มและสารเคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพสำหรับระบบอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โสภิตา วิศาลศักดิ์กุล, อรวัลภ์ อูปถัมภานนท์, กุลวดี สังข์สนธิ, สุภา จุฬคุปต์ และสุทัศน์ย์ บุญโญภาส. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 21(2), 216-228.

สำนักมาตรฐานสินค้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ (2564, 20มิถุนายน). *สถานการณ์ข้าว*. <https://www.dft.go.th/th/>

หมอเกษตรทองกวาว (2562, 12 มิถุนายน). อัตราการแปรรูป "ข้าวเปลือก" เป็น "ข้าวสาร" ของไทยสี่ได้ก็เปอร์เซ็นต์. *เทคโนโลยีชาวบ้าน*. <https://www.technologychaoban.com/>

อัจฉิมา อุ่นแก้ว, เจนจิรา รอดสุขโข, พรนภา เกษมศิริ และวลัยพร เหมโส. (2563). การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่. *วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 20(4), 81-93

Asgar, F., Bahareh, S. and Mahsa, M. (2013). Effect of Glycerol on Physical and Mechanical Properties of Wheat Starch Edible Films. *Journal of Texture Studies*, 44(3), 176-186.

ASTM D882-02. (1995). *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. <https://www.astm.org/d0882-18.html>

Dang, M.N., Thi, V.V.D., Anne, C., Grillet, H.H.T. and Chi, N.H.T. (2016). Biodegradability of polymer film based on low density polyethylene and cassava starch. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 115, 257–265.

Margarita, M.A.M., Delia, R.T.B. and Florencia, C.M. (2012). Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 449–458.

Mohammad, J., Naimeh, K., Mehran, G. and Mehri, H.N. (2013). Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 39-46.

Mohammad, J., Farideh, T.Y., Seyed, A. M. and Arash, K. (2013). Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62, 500–507.



Pawinee, T. and Thanyalak, A. (2019). The effect of glycerol content on physical and mechanical properties of the biodegradable film from sweet potato flour for preserving namwa banana. *Life Sciences and Environment Journal*, 20(1), 70-80.

Sothornvit, R. and Krochta, JM. (2000). Water Vapor Permeability and Solubility of films from Hydrolyzed Whey Protein. *Journal of Food Science*, 65(4), 700–703.

Tapia-Blácido, D.R., Amaral, S.P.J.d, and Menegalli, F.C. (2013). Effect of drying conditions and plasticizer type on some physical and mechanical properties of amaranth flour films. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 392-400.