การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

Development Production of Bioplastics from Jackfruit Seeds Starch

โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล[1*] อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์[2] กุลวดี สังข์สนิท[3] สุภา จุฬคุปต์[4] และ สุทัศนีย์ บุญโญภาส[5]

Sopida Wisansakkul[1*], Orawan Oupathumpanont[2], Kullawadee Sungsanit[3], Supa Chulacupt[4] and Sutusanee Boonyobhas[5]

[1] นักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] *คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*

[3] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*

[4] *คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*

[5] *คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*

[1] *Master's Degree, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*

[2] *Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*

[3] *Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*

[4] *Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*

[5] *Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*

Received : 9 March 2016

Accepted : 6 July 2016

Published online : 2 August 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน โดยศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และศึกษาจุดหลอมเหลวของสิ่งทดลองในระดับต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) เพื่อนำผลที่ได้ไปอัดขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนด้วยเครื่อง Compression Molding โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณของกลีเซอรีน แปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แล้ววิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและทางเคมี พบว่า ค่าความสว่าง (L*) และค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรีนเพิ่มขึ้น สำหรับการวิเคราะห์ค่าจุดหลอมเหลวช่วงอุณหภูมิ 20-300°ซ พบว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_o) เท่ากับ 36.02, 44.99, 26.93, 143.75 และ 137.74°ซ ตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) เท่ากับ 90.09, 111.33, 118.10, 152.57 และ 155.80°ซ ตามลำดับ อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_c) เท่ากับ 136.68, 156.19, 159.57, 166.88 และ 175.78°ซ ตามลำดับ และพลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (ΔH) เท่ากับ 256.95, 226.34, 248.07, 124.16 และ 166.45 (J/g) ตามลำดับ ในการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน พบว่า สิ่งทดลองมีความยืดหยุ่นและเกาะตัวเป็นแผ่นดีขึ้นตามปริมาณของกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : จุดหลอมเหลว สมบัติทางความร้อน พลาสติกชีวภาพ การอัดขึ้นรูป แป้งเมล็ดขนุน

***Corresponding author. E-mail** : sopida_w@rmutt.ac.th

Abstract

The aim of this research was to develop bioplastic product from jackfruit seed starch. Suitable formula of bioplastic production was determined by observing the melting points of the mixtures using Differential Scanning Calorimeter (DSC). The results were used in the process of forming bioplastic from jackfruit seed starch by thermoplastic compression molding. The parameters investigated were 5 glycerin concentrations of 0, 25, 50, 75 and 100 percent by weight of jackfruit seed starch. The experimental design employed was Completely Randomized Design (CRD). Physical and chemical analysis found that brightness values (L*) and moisture contents increased with increasing glycerin concentrations. Measurements of melting points between 20 - 300 °C showed that initial gelatinization temperatures (T_o) were 36.02, 44.99, 26.93, 143.75 and 137.74 °C, respectively. The Maximum gelatinization temperatures (T_p) were 90.09, 111.33, 118.10, 152.57 and 155.80 °C, respectively and final gelatinization temperatures (T_c) were 136.68, 156.19, 159.57, 166.88 and 175.78 °C, respectively. It was found that enthalpy of gelatinization (ΔH) were 256.95, 226.34, 248.07, 124.16 and 166.45 (J/g), respectively. When forming the bioplastic products from jackfruit seed starch by compression molding, the flexibility and adhesion of plastic sheets were improved with increasing glycerin concentrations.

Keywords : melting point, thermal properties, bioplastics, compression molding, jackfruit seed starch

บทนำ

ขนุนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญในเขตร้อนและมีการปลูกมากในประเทศแถบเอเชีย เนื่องจากเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่สามารถปลูกได้ตลอดปีและให้ผลผลิตต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในประเทศไทยขนุนจะปลูกกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ คิดเป็นพื้นที่ 297,245 ไร่ มีผลผลิตรวม 564,382.43 ตัน (Department of Agriculture, 2000) คนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคเฉพาะส่วนของเนื้อขนุน ทำให้มีเมล็ดขนุนปริมาณเหลือทิ้งถึง 1,000 – 24,000 กิโลกรัมต่อปี นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุนน้อย เนื่องจากส่วนใหญ่นิยมนำมาต้มเพื่อรับประทานเป็นอาหารว่างในครัวเรือนเท่านั้น ทั้งนี้เมล็ดขนุนมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก (Hathairat, 2012) ดังนั้นควรมีการนำเมล็ดขนุนมาผลิตเป็นแป้งเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าและลดการสูญเสียผลิตผลทางการเกษตร (Amonrat, 2003) ซึ่งเมล็ดขนุนสามารถนำมาสกัดเป็นแป้งสตาร์ชที่สกัดสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ๆ ออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์ได้ เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารหรือเพื่อประดิษฐ์เป็นชิ้นงานต่างๆ ได้ (Kranarong, 2007) เนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณอะมิโลสอยู่ร้อยละ 27.00-28.10 และมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) ที่ 293 RVU (Yutana, 1999) ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพชนิดเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Themoplastic Starch)

ในปัจจุบันโลกได้ให้ความสนใจบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก จึงส่งผลให้ตลาดพลาสติกชีวภาพมีโอกาสเติบโตได้อีกมากในอนาคต (NSTDA, 2015) ซึ่งผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจะเริ่มต้นจากการนำวัตถุดิบจาก

ธรรมชาติที่เป็นผลิตผลทางการเกษตร เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งอ้อย เป็นต้น มาใช้ในการผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาการทิ้งของผลิตผลทางการเกษตรและลดการใช้และทิ้งผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันลงได้

จากคุณสมบัติดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการนำแป้งจากเมล็ดขนุนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพเป็นการช่วยลดปริมาณเหลือทิ้งของผลิตผลทางการเกษตรและช่วยสร้างผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรูปแบบใหม่ขึ้น ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมของแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนเพื่อใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพ ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeters (DSC) เพื่อวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลวของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน ศึกษาเทคนิคการอัดขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding โดยนำผลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC มาใช้อัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมแป้งเมล็ดขนุนทำโดยนำเมล็ดขนุนจากผลขนุนพันธ์มาเลย์ที่สุกแล้ว มีลักษณะสด ใหม่ เมล็ดไม่เหี่ยว ไม่เน่าหรือมีกลิ่นบูด นำมาล้างทำความสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือด ในอัตราส่วนเมล็ดขนุน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 4 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที (Dararat, 2011) จากนั้นลอกเปลือกหุ้มเมล็ดขนุนสีขาวครีมและสีน้ำตาลออกให้หมด แล้วนำมาล้างให้สะอาดอีกครั้ง พักไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดขนุนที่ได้มาหั่นให้เป็นแผ่นบาง ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบในเครื่องตู้อบลมร้อนให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นละเอียด ความเร็ว 23,000 รอบต่อนาที ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมซ เมื่อได้แป้งเมล็ดขนุนแล้วให้นำมาคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (% yield) และวิเคราะห์ค่าความชื้น ตามมาตรฐาน AOAC, 2000

2. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ

ในการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณของกลีเซอรีน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มสภาพพลาสติกให้กับแป้งเมล็ดขนุน โดยแปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จะได้สูตรทั้งหมด 5 สูตร ทำการเตรียมของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน ตามกระบวนการในภาพที่ 1

ผสมแป้งเมล็ดขนุนกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1 : 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

↓

นำไปตั้งไฟพร้อมกับเติมกลีเซอรีนลงไปตามปริมาณที่กำหนดไว้

↓

คนจนสารละลายทั้งหมดเข้ากัน เป็นเวลา 15 นาที

↓

เทสารละลายลงบนถาดที่รองด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยส์

↓

นำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

↓

บดของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนที่ผ่านการอบแล้วให้เป็นผง

↓

บรรจุสิ่งทดลองไว้ในถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสูญญากาศ

ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน

2.1. ศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) เพื่อวิเคราะห์หาค่าจุดหลอมเหลว โดยบรรจุตัวอย่างของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนทั้ง 5 สูตร ลงในถาด (PAN) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในถาด ให้อยู่ระหว่าง 2 – 3 มิลลิกรัม ปิดผนึกถาดบรรจุตัวอย่างด้วยเครื่องบรรจุถาด นำถาดที่บรรจุตัวอย่างใส่ลงในช่องถาดตัวอย่างของเครื่อง DSC ซึ่งหลักการพื้นฐานของ DSC คือจะมีถาด อยู่ 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ส่วนถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่า ไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน (Teerapong, 2013) กำหนดอุณหภูมิในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน อยู่ระหว่าง 20-300 องศาเซลเซียส ควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิในการทดสอบ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที และนำผลการทดลองไปใช้ในการอัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนต่อไป

2.2. ศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ศึกษาการอัดขึ้นรูปของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน เพื่อผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยนำของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน ในปริมาณต่าง ๆ มาทำการอัดขึ้นรูปตามอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าจุดหลอมเหลวด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) จากข้อ 2.1.

ภาพที่ 2 เครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding

2.2.1. การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปทั้ง 5 สูตร ดังนี้

2.2.1.1. ลักษณะที่ปรากฏ เป็นการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนหลังจากอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding แล้ว

2.2.1.2. วัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Lovibond รุ่น SP 60 จาก บริษัท เอช.เอ.รีเสริช จำกัด) ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* b* และ Δ E เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ Color space โดยกำหนดให้ L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100

a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

โดย Δ E คือ ค่าความแตกต่างของสี (Puckanai, 2007)

2.2.2. การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี โดยการวัดค่าความชื้น ตามมาตรฐาน AOAC, 2000 เป็นวิธีการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักก่อนการอบ และจดน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้ง

การคำนวณหาร้อยละความชื้นจากสูตร

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)} \; X \; 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลการศึกษาลักษณะที่ปรากฏ ค่าสี และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่าความแตกต่าง เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) แล้วนำมาคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาวิจัยต่อไป

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

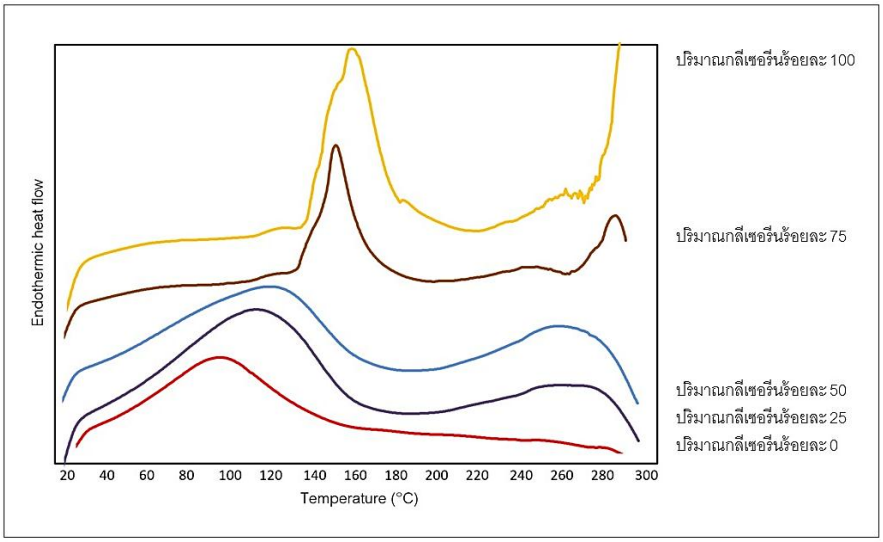
1. **การเตรียมวัตถุดิบ**

จากการศึกษาการเตรียมวัตถุดิบ พบว่า การเตรียมแป้งจากเมล็ดขนุนที่ได้ มีลักษณะสีเหลืองนวล เป็นผงละเอียด ไม่จับตัวเป็นก้อน มีกลิ่นตามธรรมชาติของเมล็ดขนุน ไม่มีกลิ่นอับ หรือมีกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ และปราศจากสิ่งแปลกปลอม จากการคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (% yield) พบว่า ได้ผลผลิตร้อยละ 21.25 ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด ซึ่งได้ผลต่ำกว่าการศึกษาของ Dararat (2011) ที่ได้รายงานว่า ผลผลิตแป้งเมล็ดขนุนจากวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 36.5 – 37.9 ซึ่งปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน ความแตกต่างของสายพันธุ์ความแก่อ่อนของขนุน รวมถึงส่วนประกอบของเมล็ดขนุน เช่น เยื่อหุ้มสีขาวครีมและเยื่อสีน้ำตาล เป็นต้น (Dararat, 2011) และผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่า แป้งจากเมล็ดขนุน มีค่าความชื้นร้อยละ 5.75 แสดงให้เห็นว่าแป้งเมล็ดขนุนที่ได้มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแป้งจาก มอก. 375-2524 ที่กำหนดค่าความชื้นของแป้งไม่ควรเกินร้อยละ 14 เพื่อเป็นการหยุดการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหารและจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งทำให้สามารถเก็บรักษาแป้งไว้ได้นาน สอดคล้องกับรายงานของ Dararat (2011) ได้กล่าวว่าแป้งจากเมล็ดขนุนที่ได้ควรมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 8

2. **ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ**

2.1 สมบัติทางความร้อน

ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนทั้ง 5 สูตร แสดงพีคการดูดความร้อน (Endothem) ซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานในการหลอมละลายผลึกของของผสม ดังแสดงในภาพที่ 3 จากการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_o) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_c) ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน ($T_o - T_c$) และพลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (ΔH) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 เทอร์โมกราฟของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน

ปริมาณกลีเซอรีน	อุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน (°ซ)				พลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน
	T_o	T_p	T_c	$T_o - T_c$	(ΔH) (J/g)
ร้อยละ 0 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$36.02^{d} \pm 1.44$	$90.09^{d} \pm 0.07$	$136.68^{e} \pm 0.74$	$100.66^{c} \pm 0.48$	$256.95^{a} \pm 1.41$
ร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$44.99^{c} \pm 0.72$	$111.33^{c} \pm 1.51$	$156.19^{d} \pm 1.17$	$111.20^{b} \pm 0.10$	$226.34^{c} \pm 0.91$
ร้อยละ 50 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$28.93^{e} \pm 0.66$	$118.10^{b} \pm 0.42$	$159.57^{c} \pm 0.62$	$130.64^{a} \pm 0.51$	$248.07^{b} \pm 0.02$
ร้อยละ 75 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$143.75^{a} \pm 0.64$	$152.57^{a} \pm 1.23$	$166.88^{b} \pm 1.13$	$23.13^{e} \pm 0.03$	$124.16^{e} \pm 0.15$
ร้อยละ 100 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$137.74^{b} \pm 0.72$	$155.80^{a} \pm 0.71$	$175.78^{a} \pm 1.26$	$38.04^{d} \pm 0.03$	$166.45^{d} \pm 0.50$

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 1 พบว่า อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 0 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ในระดับต่ำที่สุด เท่ากับ 90.09 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Parichat, 2013) ได้ศึกษาค่าจุดหลอมเหลวของแป้งจากเมล็ดขนุน พันธุ์ทองประเสริฐ พบว่า มีค่าจุดหลอมเหลวเท่ากับ 84.06 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_o) ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับ

กลีเซอรีนร้อยละ 50 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนต่ำที่สุด ซึ่งแสดงว่าสิ่งทดลองดังกล่าวสามารถเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชันได้เร็วที่สุด แต่มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน ($T_o - T_c$) สูงที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมากจากการเกิดความหลายของของผสมทำให้เกิดความไม่เป็นหนึ่งเดียวกันของโครงสร้างผลึก (Parichat, 2013) สำหรับในส่วนของค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) และค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_c) ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนสูงขึ้นตามปริมาณของกลีเซอรีน ซึ่งเกิดขึ้นจากความยืดหยุ่นของสิ่งทดลองที่เพิ่มปริมาณกลีเซอรีนมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (ΔH) พบว่า ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 0 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนมีค่า (ΔH) สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณผลึกมากจึงส่งผลให้ต้องใช้พลังงานมากในการหลอมละลายผลึก (Gunaratne and Hoover, 2002) แต่เมื่อทำการพิจารณาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการอัดขึ้นรูปของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป คือ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่สามารถเกิดเจลาทิไนเซชันของสิ่งทดลองทั้ง 5 สูตร ดังนั้นการนำอุณหภูมิดังกล่าวมาใช้ในการอัดขึ้นรูปของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนจะสามารถอัดขึ้นรูปสิ่งทดลองให้เป็นแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนได้ทุกสูตร

2.2. ศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้เวลาในการอัดผสมเป็นแผ่น 5 นาที เวลาในการหล่อเย็น 3 นาที และใช้อุณหภูมิความร้อน 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) ในการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพ สามารถผลิตแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีขนาด 20 x 20 เซนติเมตร และมีความหนา 1.2 มิลลิเมตร ได้ทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางด้านเคมี ดังนี้

2.2.1. การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

2.2.1.1. ลักษณะที่ปรากฏ จากการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของผลิตภัณฑ์แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 5 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ปริมาณกลีเซอรีน	สิ่งทดลอง	ลักษณะของสิ่งทดลอง
ร้อยละ 0 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีความแข็ง ไม่ยืดหยุ่น ไม่เกาะตัวเป็นแผ่น เมื่อจับจะแตกหักและร่วนออก
ร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีความแข็ง ไม่ยืดหยุ่น เริ่มเกาะตัวเป็นแผ่นมากยิ่งขึ้น
ร้อยละ 50 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีความยืดหยุ่นได้ดี สามารถเกาะตัวเป็นแผ่นได้ดี แต่ยังไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมีรอยแตกตัวของแผ่นพลาสติกเล็กน้อย
ร้อยละ 75 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นได้ดี สามารถเกาะตัวเป็นแผ่น รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างดี
ร้อยละ 100 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน อ่อนนุ่มมากเกินไป เนื่องจากมีส่วนผสมของกลีเซอรีนอยู่ในระดับมาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ลักษณะของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 5 สิ่งทดลอง จะพบว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่ร้อยละ 0 และ 25 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีลักษณะแข็งและไม่มีความยืดหยุ่น เนื่องจากมีปริมาณกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่น้อยไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกได้ สำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่ร้อยละ 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนมีลักษณะจับตัวกันเป็นแผ่นและมีความยืดหยุ่นดี และผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มี

ปริมาณกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่ร้อยละ 100 มีลักษณะเป็นแผ่นอ่อนนุ่ม ขาดง่าย และมีลักษณะผิวมันลื่นจากปริมาณกลีเซอรีนที่มากเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรีนเป็นสารจำพวกสารดูดความชื้น (Hydroscopic) จากการที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนจึงสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแป้งเมล็ดขนุนได้ จึงทำให้สามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มสภาพพลาสติกได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นได้ดี

2.2.1.2. การวัดค่าสี

ในการวัดค่าสีของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding ทั้ง 5 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

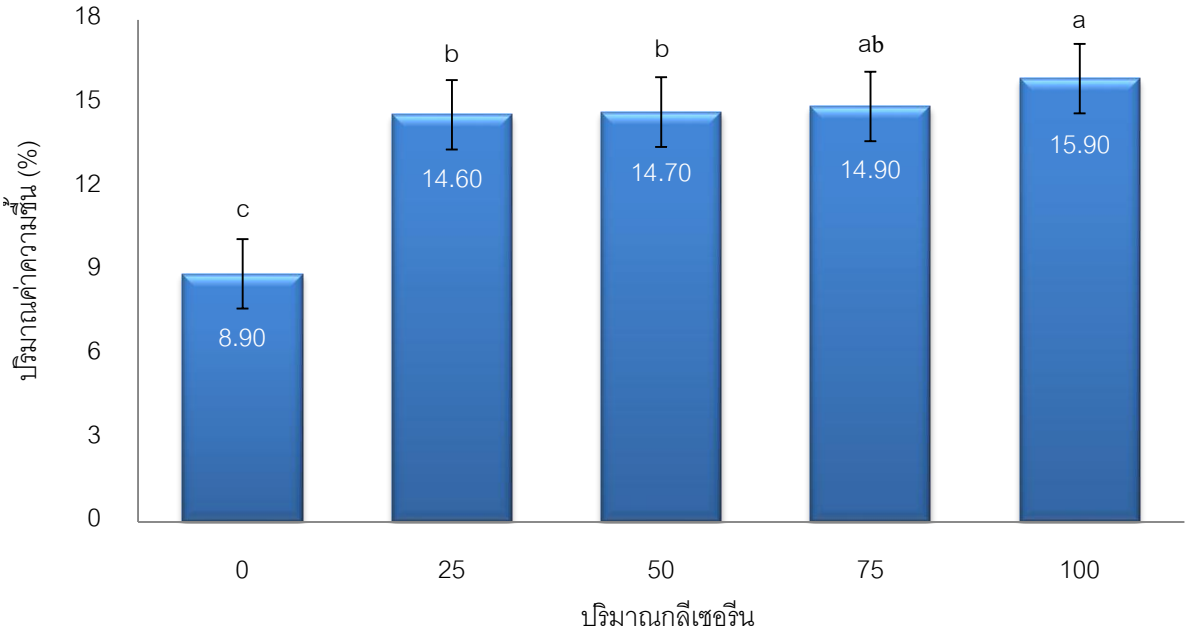
ปริมาณของกลีเซอรีน	ค่าสี*			
	(L*)	(a*)	(b*)	ΔE
0	$54.29^{a} \pm 2.74$	$6.82^{c} \pm 0.58$	$32.69^{a} \pm 1.39$	$4.57^{c} \pm 2.52$
25	$42.86^{c} \pm 2.10$	$10.89^{a} \pm 0.71$	$26.46^{c} \pm 1.65$	$17.67^{a} \pm 2.42$
50	$43.53^{c} \pm 1.49$	$11.49^{a} \pm 0.74$	$28.65^{b} \pm 1.02$	$16.22^{a} \pm 1.53$
75	$45.08^{c} \pm 1.05$	$10.02^{b} \pm 0.47$	$26.54^{c} \pm 0.88$	$15.55^{a} \pm 1.30$
100	$50.76^{b} \pm 0.63$	$9.45^{b} \pm 0.38$	$29.74^{b} \pm 0.84$	$9.06^{b} \pm 0.71$

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 3 พบว่า แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีน ร้อยละ 0 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่าความสว่างของสี (L*) สูงสุด มีผลมาจากสีของแป้งเมล็ดขนุนที่มีลักษณะสีเหลืองนวลติดอยู่บนผิวของแผ่นพลาสติกชีวภาพ ซึ่งสิ่งทดลองดังกล่าวไม่ได้มีส่วนผสมของกลีเซอรีน จึงส่งผลให้สิ่งทดลองมีค่า (L*) สูงสุด เนื่องจากสีของแป้งจากเมล็ดขนุนที่ปรากฏอยู่แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำหรับแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีน ร้อยละ 25, 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่า (L*) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่ในส่วนของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีน ร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่า (L*) สูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อสิ่งทดลองมีปริมาณกลีเซอรีนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้สิ่งทดลองมีความมันวาวและสว่างมากขึ้น โดยเกิดขึ้นจากน้ำมันที่เป็นส่วนผสมในการผลิตกลีเซอรีนระเหยออกมาจับตัวกันบริเวณผิวของแผ่นพลาสติกชีวภาพ และในส่วนของค่า (a*) และ (b*) พบว่า สิ่งทดลองทั้งหมดมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ และจากการเติมปริมาณกลีเซอรีนเพื่อเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรีนมีลักษณะคล้ายกับน้ำตาล (Nusawan, 2014) เมื่อได้รับความร้อนจึงส่งผลให้แผ่นพลาสติกชีวภาพมีสีออกไปในทิศทางสีแดงและสีเหลือง

2.2.2. การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี โดยการวัดค่าความชื้น ตามมาตรฐาน AOAC, 2000 ของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding ทั้ง 5 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลการศึกษาค่าความชื้นของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากภาพที่ 4 พบว่า ค่าความชื้นของสิ่งทดลองทั้ง 5 มีค่าความชื้นที่สูงขึ้นตามปริมาณของกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Tanasit, 2013) กล่าวว่า กลีเซอรีนมีน้ำเป็นส่วนผสมจึงส่งผลให้แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความชื้นในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณกลีเซอรีนร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความชื้นอยู่ในระดับที่สูงที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน แป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มีคุณลักษณะเป็นสีเหลืองนวล เป็นผงละเอียดไม่จับตัวเป็นก้อน มีกลิ่นตามธรรมชาติของเมล็ดขนุน หลังจากนั้นนำแป้งขนุนที่ได้มาทำการศึกษา โดยแปรปริมาณของกลีเซอรีนที่เหมาะสมเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน พบว่าการวิเคราะห์ค่าจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนทั้ง 5 สูตร มีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 90.09 - 155.80 องศาเซลเซียส และเมื่อนำสิ่งทดลองไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding ด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ลักษณะปรากฏจะมีความยืดหยุ่นและสามารถเกาะตัวกันได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรีนลงไปในแป้งเมล็ดขนุน เมื่อวิเคราะห์ค่าสี

พบว่า สิ่งทดลองทั้งหมดมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง และจากการวิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่า ปริมาณความชื้นของสิ่งทดลองเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น และจากการทดลองสรุปได้ว่า พลาสติกชีวภาพที่มีปริมาณกลีเซอรีนร้อยละ 50 มีคุณสมบัติเหมาะที่จะนำไปทำเป็นพลาสติกชีวภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Amonrat Mukprasek and Kamontip Sajjaanuntakul. (2003). *Factors affecting the extraction of starch from jackfruit seeds*. In *Symposium on Agricultural 5th*. Bangkok. (in Thai)

National Science and Technology Development Agency (NSTDA). (2015). *Bioplastics Investment Opportunities in Thailand*. Retrieved November 9, 2015, from http://www.nstda.or.th/news/17716-bioplastic. (in Thai)

Dararat Naklaor, Arpathsra Sangnak and Kullaya Limroongreungrat. (2011). *Improvement in quality of jackfruit seed flour by pregelation.* In Burapha Sci. J, *16* (1), 12-21. (in Thai)

Foodnetwork. (2015). *Dried food.* Retrieved March 2, 2015, from http://www/foodnetworksolution.com/wiki/word/1327/dried-food-อาหารแห้ง (in Thai)

Hathairat Srisuput. (2012). *on radio show "Research from the Kasetsart University" On air 11 June 2012, Title "Value of output jackfruit"*, Retrieved March 2, 2015, from http://www2.rdi.ku.ac.th/newweb/?p=2053. (in Thai)

Department of Agriculture. (2000). *Statistics planting perennial crops in 1995.* Bangkok: Planning Division. Department of Agriculture. (in Thai)

Gunaratne,A. and Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydr Polym. 49*, 425-437.

Klanarong Sriraod and Keawkoon Piyajomkwan. (2003). *The technology of flour*. Edition 4: Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Nusawan Boonwong. (2014). *Study on Crude Glycerin Digestibility and Its Effect on Productive Performance and Carcass Characteristics in Broiler.* Master of Science in Animal Science. Prince of Songkla University. (in Thai)

Parichat Phrukwiwattanakul. (2013). *Production of Resistant Starch from Different Types of Starch and Determination of Their Prebiotic Properties.* Master of Science. Songkla University. Songkla. (in Thai)

Puckanai Tongtiumporn. (2007). *Vision and color measurement*. Retrieved November 15, 2015, from http://www.rmutphysics.com/charud/pdf-learning/pdf1/color.pdf. (in Thai)

Tanasit Keawtanaisawarn. (2012). *Producer Gas Generation from Refuse – Derived Fuel Mixed with Glycerin from Biodiesel Production Process*. Master of Engineering. Chiang Mai University. Chiang Mai. (in Thai)

Teerapong Wongchanaphiboon. (2013). *Chemical polymer*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Yutana Pimonsiripon. (1999). *Study on chemical and physical property of peeled and unpeeled jackfruit seed starch.* Thesis. Kasetsart University. (in Thai)