

พบว่าฟิล์มผสมสตาร์ช-แอลจิเนตสูญเสียน้ำหนัก 87.73-68.04 % หลังจากฝังกลบเป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการย่อยสลายเกิดขึ้น โดยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของแอลจิเนตส่งผลให้ฟิล์มสูญเสีย น้ำหนักช้าลง จากผลการทดสอบเลือกฟิล์มผสมสตาร์ช-แอลจิเนตอัตราส่วน 90/10 มาขึ้นรูปเป็นซองและ ทดสอบบรรจุขนมปังแครกเกอร์ เปรียบเทียบกับซองขึ้นรูปจากฟิล์มชุดควบคุม และฟิล์มทางการค้า (ฟิล์มอบไอโอลูมิเนียม) พบว่าขนมปังแครกเกอร์ที่บรรจุในซองจากฟิล์มผสมสตาร์ช-แอลจิเนตและฟิล์ม สตาร์ช มีความชื้นเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บความชื้นสัมพัทธ์ 65% เป็นเวลา 15 วัน ส่งผลให้สูญเสียความ กรอบ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มทั้งสองไม่เหมาะสมที่จะนำมาบรรจุอาหารที่มีความกรอบ

Cassava is the important starch source of Thailand, could be a potential material for prepare bio-film and bio-packaging. However cassava starch based film is brittle and weak, leading to add plasticizer to improve flexibility but its affect to decrease strength and water vapor barrier too. Blending other biopolymers can be improved the properties. The objective of this research was to prepare bio-films from cassava starch which improved properties by blending alginate and use as bio-packaging material. This research was processed at Postharvest and Processing Research and Development Division during 2014-2015. Cassava were cleaned and sliced into small pieces before being compressed to get juice at room temperature. After starch in the juice settled and became to white color, the water was removed. The sediments were hot-air dried at 50°C for 24 hours, grinded to fine powder and evaluated the chemical composition. Bio-film was prepared from cassava starch and alginate mixtures with ratios of 100/0, 95/5, 90/10, 85/15, 80/20, 75/25 and 70/30. The Results showed that blended alginate to starch based film did not affect to film thickness ($P \geq 0.05$) but increased transparent, moisture content, water solubility and decreased a_w ($P < 0.05$). Increasing concentration of alginate increased tensile strength and modulus of elasticity but reduced elongation of films ($P < 0.05$). While starch-alginate blended film was lower WVTR than non-blended (Control) but OTR tends increased when increased concentration of alginate. For biodegradable test, starch-alginate based films were lost weight 87.73-68.04 % after burial for 3 months. This results indicated, films were degraded in soil and concentration of alginate affect on weight loss of blended film. From above properties, selected starch-alginate based film ratio 90/10 mocked up pouch and used as cracker's packaging compare with starch based film (100/0) and commercial pouch (metalized film). After storage for 15 days at 65% RH, crackers which packed in starch and starch-alginate based

pouches increased moisture content. The results indicated starch and starch-alginate based pouches could not prevent crispness foods from moisture attach.

6. คำนำ :

บรรจุภัณฑ์มีหน้าที่บรรจุ รวบรวม ปกป้อง คัดกรองผลิตภัณฑ์จากสิ่งแวดล้อมและแรงกระทำจากภายนอก ผลิตได้จากวัสดุหลายชนิด ได้แก่ แก้ว กระดาษ โลหะ และพลาสติก โดยพลาสติกถือเป็นวัสดุบรรจุที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้งานได้หลากหลาย ราคาถูก น้ำหนักเบา และสามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ และกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ได้ตามต้องการ เช่น สมบัติเชิงกล การแพร่ผ่านของสาร อีกทั้งบางชนิดสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน (งามทิพย์, 2550) อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนการใช้ตามพลาสติกในปัจจุบัน นำพามาซึ่งปัญหาด้านขยะ เนื่องจากย่อยสลายได้ยากและกำจัดได้ลำบาก ส่งผลต่อระบบนิเวศ การรีไซเคิลมีต้นทุนไม่คุ้มทุน นอกจากนี้ยังพบว่าพลาสติกบางชนิดเป็นอันตรายเนื่องจากสารตั้งต้นเป็นสารก่อมะเร็ง มีการไมเกรทออกมาระหว่างการบรรจุอาหาร (Siracusa *et al.*, 2008) จากความตระหนักดังกล่าว จึงมีการพัฒนาพอลิเมอร์ชีวภาพขึ้นมาทดแทน ซึ่งมีคุณสมบัติหลักคือ สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยใช้กระบวนการที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และชนิดของจุลินทรีย์ (Mahalik and Nambiar, 2010) และสังเคราะห์ได้จากแหล่งที่สามารถทดแทนได้

พอลิเมอร์ชีวภาพสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม โดยขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์และแหล่งที่มา คือ พอลิเมอร์จากชีวมวล ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน พอลิเมอร์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ เช่น พอลิไฮดรอกซีแอลคาโนเอท (PHA) พอลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีโดยใช้มอนอเมอร์จากแหล่งทางการเกษตร เช่น พอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีจากแหล่งฟอสซิล เช่น พอลิคาโพรแลคโตน (PCL) (Vieira *et al.*, 2011) โดยในกลุ่มพอลิเมอร์จากชีวมวล แบ่งเป็นพอลิเมอร์เป็นที่ได้รับความสนใจเนื่องจากสามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ ราคาถูก และพัฒนาต่อเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งในรูปแบบฟิล์มและสารเคลือบบริโภคได้ ใช้ลดการสูญเสียน้ำหนักของอาหาร เพิ่มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร เช่น ลักษณะที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความปลอดภัยของอาหาร (Lu *et al.*, 2009)

แป้ง หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เมื่อสกัดสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ ออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์ เรียกว่า สตาร์ช (Starch) (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546) ถือเป็นโพลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากในพืช โดยถูกสะสมไว้ในส่วนต่างๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมกันอยู่ในรูปเม็ดสตาร์ช (Starch granule) โดยสตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเม็ดสตาร์ชและโครงสร้างเคมีของโมเลกุลแตกต่างกัน นิธิยา, 2553) มันสำปะหลัง (*Manihotesculentacrantz*) เป็นแหล่งสตาร์ชที่มีความสำคัญของประเทศไทย เนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก โครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^5 กรัมต่อโมล เป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงแก่ฟิล์ม และอะไมโลเพกติน สายโซ่ของพอลิเมอร์เป็นกิ่งก้านสูง น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^7 กรัมต่อโมล (Bangyekan *et al.*, 2006) สตาร์ชให้ฟิล์มที่มีลักษณะกรอบเปราะ ต้องเติมพลาสติกไซเซอร์เพื่อ

ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล โดยกนกศักดิ์และศิริพร (2556) ศึกษาการเตรียมฟิล์มสตาร์ชจากมันสำปะหลังและมันเทศ พบว่าการเติมซอร์บิทอล 30% โดยน้ำหนักสตาร์ชช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suppakul *et al.* (2013) ฟิล์มสตาร์ชมีคุณสมบัติละลายได้ยาก ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ จึงมีการผสมพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Tongdeesoontorn *et al.*, 2011) คาร์ราจีแนน และเจแลน (Kim *et al.*, 2015) เป็นต้น แอลจีเนตเป็นพอลิแซคคาไรด์อีกชนิดที่มีการนำปรับปรุงคุณสมบัติของสตาร์ช

แอลจีเนต (Alginate) เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลในวงศ์ *Phaeophyceae* ผลิตทั้งในรูปอนุพันธ์ของเกลือโซเดียม โพแทสเซียม แอมโมเนียม เป็นต้น ซึ่งทำให้ละลายน้ำได้ แอลจีเนตเป็นพอลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงของกรดแมนูโรนิกและกรดกูลูโรนิกทำให้มีประจุลบสูง มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน ละลายน้ำได้ดี สามารถเกิดฟิล์มได้ตรง และเสถียรต่อความร้อน (นิธิยา, 2553; Embuscado *et al.*, 2009) จากการศึกษาของ Siddaramaiah *et al.* (2008) พบว่าอัตราส่วนของสตาร์ชและแอลจีเนตส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม เนื่องจากสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันของพอลิแซคคาไรด์ทั้งสองชนิด ฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชสาชูและแอลจีเนตมีการละลายและความต้านทานต่อแรงดึงขาดดีขึ้น (Fazilah *et al.*, 2011)

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยแอลจีเนต โดยการแปรความเข้มข้นของสตาร์ชต่อแอลจีเนต นำมาทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม การย่อยสลายได้ของแผ่นฟิล์ม และการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

7. วิธีดำเนินการ :

อุปกรณ์

- มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่จากตลาดไท
- ขนมหังแครกเกอร์
- น้ำส้มสายชูกลั่น 5 เปอร์เซ็นต์ ตรา ภูเขาทอง
- ซอร์บิทอล (D-Sorbitol, Food Grade, รวมเคมี)
- ถูผ้าคั้นน้ำกะทิ
- ถังพลาสติกมีฝาปิด ขนาด 10 ลิตร
- โถดูดความชื้น (Desicator)
- แผ่นอะคริลิกสำหรับขึ้นรูป (ขนาด 30×30×0.4 เซนติเมตร)
- เครื่อง Universal Testing Machine; Instron
- เครื่อง UV Spectrophotometer
- เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนแบบมือกด (ZHENGXIONG, Model:FS-300)
- เครื่องวัดดินระบบดิจิตอล (AMTAST, Model:AMST-300)
- เครื่องวัดความหนา (Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT)
- เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Multistirrer, SBSA-08 Series B)

- เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Daiichi, Model:TH-303C)
- เครื่องวัดสี (Konica Minolta Chroma meter, Model: CR-400)
- เครื่องบดขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร (Armfield, RetschMuhle)
- ตู้อบมร้อน (KOTTERMANN 2736)
- เครื่องหั่นย่อยขนาดใบมีดเบอร์ 3 (robot coupe รุ่น CL60 บริษัท C.L. FoodS)
- เครื่องคั้นน้ำกะทิ (Hydraulic Machine to Press Coconut milk, Model :12 turbo)
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler RM480 DeltaRange)
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler AE200)

วิธีการ

1. เตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง ตามวิธี กนกศักดิ์และศิริพร (2556) และทดสอบองค์ประกอบทางเคมี ตามวิธี AOAC (1990)

2. การเตรียมแผ่นฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชมันสำปะหลังและแอลจิเนต ดัดแปลงจากวิธีของ กนกศักดิ์และศิริพร (2556) และ Fazilah *et al.* (2011) และทดสอบคุณสมบัติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 3 ซ้ำ 7 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม ฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลัง

กรรมวิธีที่ 2 ฟิล์มผสมของสตาร์ชมันสำปะหลังและโซเดียมแอลจิเนต อัตราส่วน 95/5

กรรมวิธีที่ 3 ฟิล์มผสมของสตาร์ชมันสำปะหลังและโซเดียมแอลจิเนต อัตราส่วน 90/10

กรรมวิธีที่ 4 ฟิล์มผสมของสตาร์ชมันสำปะหลังและโซเดียมแอลจิเนต อัตราส่วน 85/15

กรรมวิธีที่ 5 ฟิล์มผสมของสตาร์ชมันสำปะหลังและโซเดียมแอลจิเนต อัตราส่วน 80/20

กรรมวิธีที่ 6 ฟิล์มผสมของสตาร์ชมันสำปะหลังและโซเดียมแอลจิเนต อัตราส่วน 75/25

กรรมวิธีที่ 7 ฟิล์มผสมของสตาร์ชมันสำปะหลังและโซเดียมแอลจิเนต อัตราส่วน 70/30

นำสตาร์ชมันสำปะหลัง 9 กรัม (ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง) ผสมโซเดียมแอลจิเนต

อัตราส่วนตามกรรมวิธี เดิมซอร์บิทอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักสตาร์ชและโซเดียมแอลจิเนต เติมน้ำ

กลั่น 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส กวนจนสารละลายจนเกิดเป็นเจลใสด้วยเครื่องกวน

แม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิก อบในตู้อบมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ลอก

แผ่นฟิล์มออกนำไปทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม ดังนี้

1) ความหนา (Thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนา

2) ความชื้น ดัดแปลงจาก AOAC (1990)

อบถ้วยอลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาตั้งทิ้งไว้ที่

อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด 0.0001 กรัม ชั่งฟิล์ม 1.5 กรัม บันทึก

น้ำหนัก (A_0) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่ง

น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ บันทึกน้ำหนัก (A_1) คำนวณค่าความชื้นของตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

- 3) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)
- 4) การส่องผ่านของแสง (Transmittance) และค่าความโปร่งใส (Transparency) ตามวิธีของ Han and Flores (1997) ดังนี้

ตัดฟิล์มขนาด 2x5 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำไปวัดค่าการผ่านของแสง (Transmittance) ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer นำค่าการผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (T_{600}) มาคำนวณหาค่าความโปร่งใสของฟิล์มดังนี้

$$\text{Transparency} = \frac{-\log T_{600}}{\text{Thickness (mm)}}$$

- 5) ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength) และการยืดตัว (Elongation) ตาม ASTM D882-10 ตัดตัวอย่างขนาด 25x100 มิลลิเมตร ตัวอย่างละ 8 ซ้ำ ปรับสภาวะที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาทดสอบ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron ระยะห่างระหว่างปากจับ 100 มิลลิเมตร ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที
- 6) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate, OTR)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Colourmetric Sensor สภาวะในการทดสอบ คืออุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0% ด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Tester; Illinois 8000 โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- 7) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) และค่าการผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E96-00 Water Vapor Transmission of Materials สภาวะในการทดสอบ คืออุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- 8) การละลายน้ำ (Water solubility) ตามวิธีของ Su *et al.* (2010) และ Tongdeesoontorn *et al.* (2011) ดังนี้

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 50x50 มิลลิเมตร หรือน้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการละลาย (W_0) แฉในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศา

เซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง)นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักหลังการละลาย (W_1) นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

- 9) ทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradation) โดยดัดแปลงวิธีของ Gouhua, *et. al* (2006) และ Rudnik and Briassoulis (2011) ดังนี้

ตัดชิ้นฟิล์มขนาด 5x5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ตัวอย่างละ 3 ชิ้นเก็บในเดซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้น (A_0) ฝังในกระถางที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร กลบด้วยดินสำเร็จรูปสำหรับปลูกไม้ดอกไม้ประดับ เก็บข้อมูลดินด้วยเครื่องวัดดินระบบดิจิตอล AMTAST ทุกวัน วางกระถางในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ขุดฟิล์มตัวอย่างหลังจากฝังเป็นเวลา 3 เดือน นำมาทำความสะอาด อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเก็บในเดซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนัก (A_1) นำน้ำหนักมาคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

ระยะเวลา ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558

สถานที่ดำเนินการ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง

สตาร์ชจากมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงสีขาวเช่นเดียวกับของกนกศักดิ์และศิริพร (2556) มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเคมีของสตาร์ชขบแป้งมันสำปะหลัง

	%Protein	%oil	%ash	%fiber	%MC	%CHO
Cassava Starch	0.20	0.23	0.27	1.24	12.58	85.48

(MC=Moisture content, CHO=Carbohydrate)

2. การเตรียมแผ่นฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชมันสำปะหลังและแอลจีเนต และทดสอบคุณสมบัติ

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ ได้ปรับความเข้มข้นของสตาร์ชมันสำปะหลังและปริมาตรในการเตรียมจาก 5% เตรียมที่ 300 มิลลิลิตร โดยกนกศักดิ์และศิริพร (2556) เป็น 4.5% เตรียมที่ 200 มิลลิลิตร และปรับความเข้มข้นของสตาร์ชต่อแอลจีเนตของ Fazilah *et al.* (2011) เป็น 100/0 95/5 90/10 85/15 80/20 75/25 และ 70/30 ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไฮเซอรัลที่ความเข้มข้นเดียวกับกนกศักดิ์และศิริพร (2556) พบว่าฟิล์มผสมสตาร์

ขม้นสำหรับหลังและแอลจินตมีลักษณะโปร่งใสมากขึ้น เมื่อทดสอบการผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบว่าการผ่านของแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแอลจินตในทุกช่วงความยาวคลื่น (ตารางที่ 2) และค่า Transparency ของฟิล์มลดลง ($P < 0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์ค่าส่องผ่านของแสงของฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชและแอลจินต

Starch/ Alginate	Wavelength (nm)				
	400	500	600	700	800
100/0	59.77 ^c	62.65 ^c	64.79 ^c	66.54 ^c	68.46 ^b
95/5	65.19 ^c	67.86 ^c	69.72 ^{bc}	71.19 ^c	72.87 ^b
90/10	63.40 ^{bc}	66.44 ^{bc}	68.54 ^{bc}	70.20 ^{bc}	72.03 ^a
85/15	64.50 ^{bc}	67.55 ^{bc}	70.81 ^{bc}	71.42 ^{bc}	73.30 ^a
80/20	70.37 ^{ab}	73.17 ^{ab}	75.02 ^{ab}	76.44 ^{ab}	77.99 ^a
75/25	72.86 ^a	75.86 ^a	77.73 ^a	79.12 ^a	80.54 ^a
70/30	73.46 ^a	76.57 ^a	78.52 ^a	79.97 ^a	81.35 ^a
CV (%)	5.0	4.6	4.7	4.0	2.7

ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

มีความหนาไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) ในช่วง 0.083 – 0.093 มิลลิเมตร ขณะที่อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของแอลจินตส่งผลให้ปริมาณความชื้นของฟิล์มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) และ a_w ของฟิล์มลดลง ($P < 0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 3 โดยความชื้นที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มนั้นเป็นผลมาจากคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) และการกักเก็บความชื้นของแอลจินต เนื่องจากมอนอเมอร์ของแอลจินตมีองค์ประกอบของหมู่ไฮดรอกซิลจึงเหนี่ยวนำความชื้นเข้าสู่ฟิล์มเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อแอลจินตมีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าสตาร์ช จึงสามารถสร้างพันธะกับน้ำอิสระได้ดีกว่าส่งผลให้ค่า a_w ลดลง (Labuza, 1980)

เมื่อนำฟิล์มมาทดสอบการละลายน้ำ พบว่าฟิล์มที่มีอัตราส่วนของสตาร์ชและแอลจินตเมื่อผลต่อการละลายน้ำ ($P < 0.05$) เมื่อลดสตาร์ชและเพิ่มแอลจินต ส่งผลให้การละลายน้ำดีขึ้น ($P < 0.05$) ดังแสดงใน รูปที่ 1 เนื่องจากสตาร์ชมีองค์ประกอบของอะไมโลสซึ่งไม่ละลายน้ำ การลดปริมาณสตาร์ชและเพิ่มปริมาณแอลจินตซึ่งละลายน้ำได้ดี จึงทำให้ฟิล์มละลายน้ำดีขึ้นด้วย

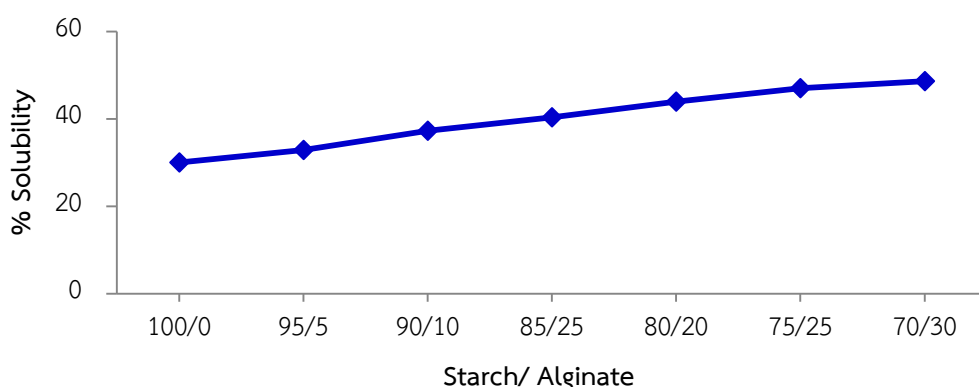
การเติมแอลจินตส่งผลให้ฟิล์มมีลักษณะโปร่งใสมากขึ้น โดยค่า Transparency ของฟิล์มลดลง ($P < 0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 3 ค่าการผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแอลจินตในทุกช่วงความยาวคลื่น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชและแอลจิเนต

Starch/ Alginate	Thickness (mm.)	Moisture (%)	a_w	Transparency	Tensile Strength (kgF/cm ²)	Elongation (%)	Modulus of Elasticity (MPa)	WVP * (g.mm/ m ² .day. kPa)	OTR ** (cm ³ / m ² .day)	Biodegradation (% weight loss)
100/0	0.093	8.67 ^a	0.57 ^b	2.17 ^d	55.43 ^e	71.33 ^a	295.89 ^b	29.05 ^c	0.65	nd
95/5	0.089	7.96 ^a	0.56 ^b	1.76 ^c	79.31 ^{de}	49.89 ^b	477.95 ^b	22.94 ^a	0.78	87.73
90/10	0.086	8.42 ^a	0.55 ^a	1.65 ^{bc}	95.96 ^{de}	45.48 ^b	488.05 ^b	22.45 ^a	1.01	85.83
85/15	0.088	8.59 ^a	0.55 ^a	1.65 ^{bc}	112.59 ^{cd}	48.81 ^b	394.82 ^b	24.95 ^b	1.25	79.83
80/20	0.090	9.48 ^b	0.55 ^a	1.51 ^{bc}	142.96 ^{cb}	42.25 ^{bc}	539.77 ^a	28.03 ^c	1.46	74.68
75/25	0.089	9.45 ^b	0.55 ^a	1.25 ^a	188.40 ^a	18.24 ^d	865.54 ^a	26.32 ^b	1.65	70.70
70/30	0.083	9.60 ^b	0.55 ^a	1.24 ^a	164.55 ^{ab}	23.96 ^{cd}	819.15 ^a	26.39 ^b	1.46	68.04
CV (%)	5.6 ^{ns}	4.6	1.9	7.7	20.1	24.9	32.8	3.1	-	-

* WVP = Water Vapor Permeability , **OTR = Oxygen Transmission Rate

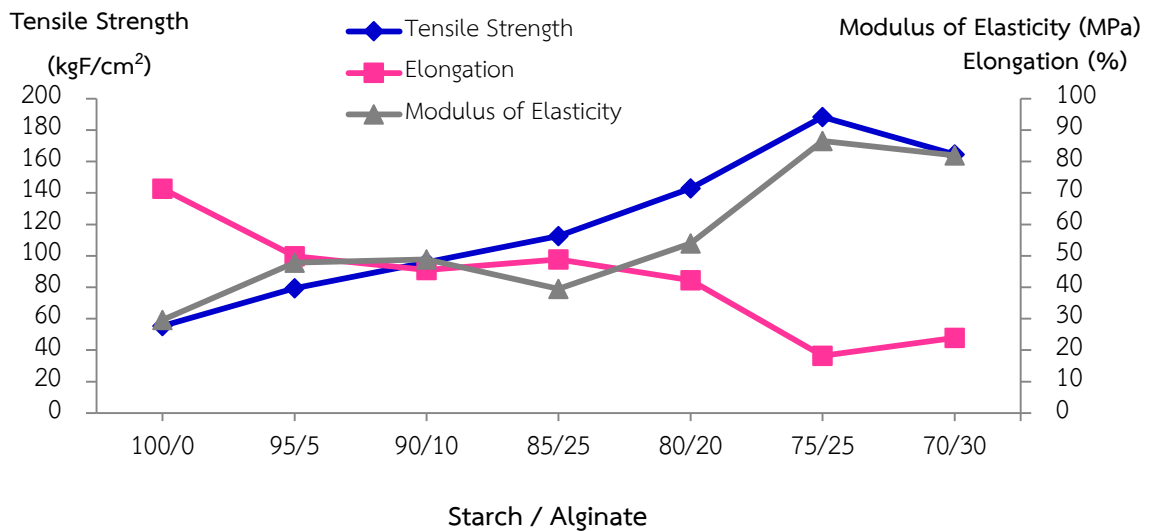
ตัวอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



รูปที่ 1 ผลของความเข้มข้นแอลจิเนตต่อการละลายของฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชและแอลจิเนต

เมื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มได้แก่ ความต้านแรงดึงขาด (Tensile Strength) การยืดตัว (Elongation) และโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) พบว่าแอลจิเนตมีผลให้ฟิล์มมีความต้านแรงดึงขาด และค่าโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าการยืดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง (P<0.05) (ตารางที่ 3 และ รูปที่ 2) สอดคล้องกับการศึกษาของ Fazilah *et al.* (2011) ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราส่วนของแอลจิเนตเพิ่มขึ้น ฟิล์มจะมีความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นและการยืดตัวลดลง โดย Siddaramaiah *et al.*, (2008) ได้อธิบายว่าแอลจิเนตมีสายโซ่พอลิเมอร์เป็นเชิงเส้น (linear chain) มีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลที่สร้างพันธะที่แข็งแรงกับหมู่ไฮดรอกซิล ของสตาร์ช ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลระหว่างสตาร์ชกับแอลจิเนตสูงกว่า

สตาร์ชกับสตาร์ช พิล์มจึงมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงขาด โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นซึ่งบอกถึงความคงตัวของฟิล์ม (Suppakul *et al.*, 2014) เพิ่มขึ้น และการยืดตัวลดลง

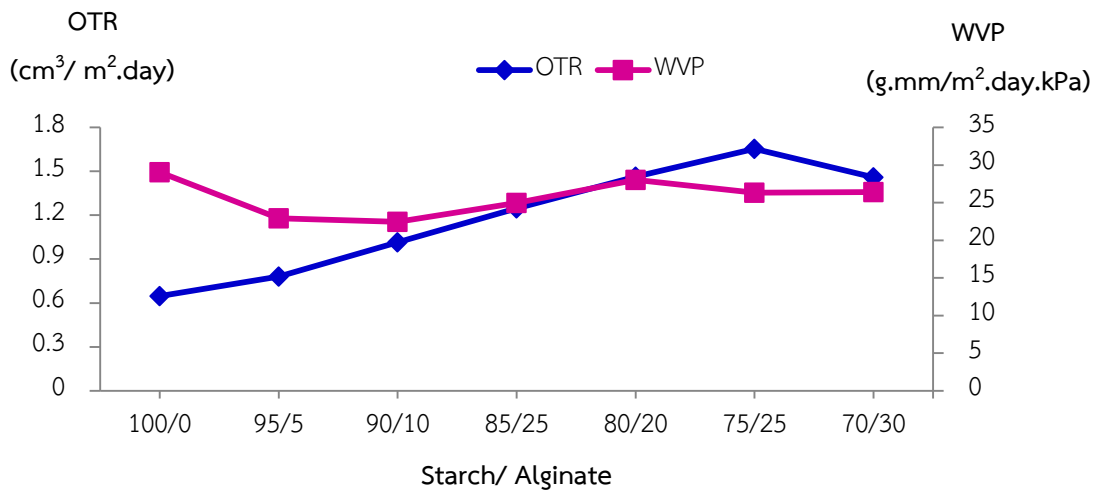


รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นแอลจิเนตต่อคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชและแอลจิเนต

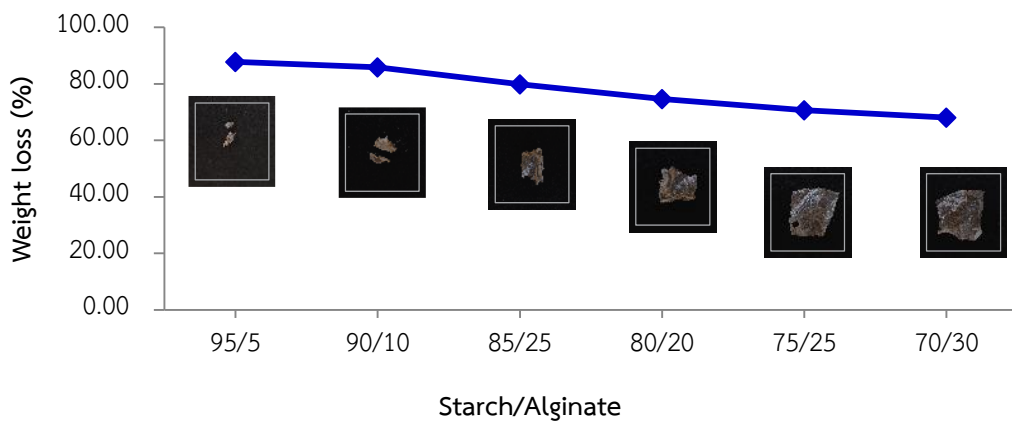
ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของแอลจิเนตส่งผลให้การซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม (Water Vapor Permeability, WVP) ความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 3 และ รูปที่ 3 โดยเมื่ออัตราส่วนของแอลจิเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมี WVP เพิ่มขึ้น มีค่าในช่วง 22.94–26.39 g.mm/m².day.kPa แต่มีค่าน้อยกว่า ($P < 0.05$) ฟิล์มสตาร์ชไม่ผสมแอลจิเนต 29.05 g.mm/m².day.kPa ขณะที่อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate, OTR) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่เติมแอลจิเนตที่ 25% มีค่า OTR สูงที่สุดคือ 1.65 cm³/ m².day (ตารางที่ 3, รูปที่ 3) ซึ่งค่า WVP และ OTR ของฟิล์มอาจมีผลมาจากการจัดเรียงโมเลกุลของพอลิเมอร์ กล่าวคือ พอลิเมอร์เชิงเส้นจะมีการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำน้อยกว่าพอลิเมอร์แบบกึ่งเนื่องจากมีความหนาแน่นมากกว่า (งามทิพย์, 2557) จึงส่งผลให้ WVP ต่ำกว่าฟิล์มสตาร์ชไม่เติมแอลจิเนต อย่างไรก็ตาม สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ชนิดที่มีผลึก (Crystalline) สูง การเติมแอลจิเนตซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) ส่งผลให้ฟิล์มมีการจัดเรียงเป็นระเบียบลดลง อีกทั้งส่วนของอะไมโลเพกตินซึ่งมีกิ่งของสตาร์ช ไม่เชื่อมพันธะกับพอลิเมอร์อื่นๆ ทำให้เกิดช่องว่างภายในเมทริกซ์ (Siddaramaiah *et al.*, 2008) ก๊าซออกซิเจนจึงสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น แต่ช่องว่างดังกล่าวอาจยังมีอิทธิพลต่อ WVP ของฟิล์มไม่มากเท่าผลจากความหนาแน่นที่เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล จึงส่งผลให้ WVP ของฟิล์มลดลงเมื่อผสมแอลจิเนตที่ความเข้มข้น 5% และ 10% และเริ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

การทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มโดยวิธีฝังดิน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแอลจิเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มย่อยสลายช้าลง หลังจากฝังดินเป็นเวลา 3 เดือน ฟิล์มมีน้ำหนักลดลงในช่วง 68.84-87.73% ดังแสดงในตารางที่ 3 และ รูปที่ 4 เนื่องจากแอลจิเนตส่งผลให้ฟิล์มมีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น (จากความต้านทานแรงดึงขาดที่สูงขึ้น) ทำให้การเข้าย่อยสลายฟิล์มของจุลินทรีย์ทำได้ยากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ

ของฟิล์มแอลจิเนตและเพคตินโดย Solak and Dyankova (2014) ซึ่งพบว่าฟิล์มเพคตินซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าฟิล์มแอลจิเนตและฟิล์มผสมแอลจิเนตจะย่อยสลายเร็วกว่า



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นแอลจิเนตต่อคุณสมบัติการกันผ่านของฟิล์มผสมระหว่างสตาร์ชและแอลจิเนต



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นแอลจิเนตต่อการย่อยสลายของฟิล์มหลังการฝังดิน 3 เดือน

3. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

คัดเลือกฟิล์มผสมสตาร์ชมันสำปะหลังและแอลจิเนต ที่ความเข้มข้น 90/10 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ค่า WVP น้อยที่สุด ขณะที่ความชื้น และ aw อยู่ในกลุ่มที่มีค่าน้อย มาขึ้นรูปเป็นซองบรรจุแครกเกอร์ เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65% ทดสอบเปรียบเทียบกับฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังชุดควบคุม และฟิล์มอาบไอโอดีนเมียม (Metallize) ทางการค้า พบว่าฟิล์มทั้งสองชนิดยังไม่สามารถป้องกันความชื้นเข้าสู่แครกเกอร์ได้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นี้ และสูญเสียความกรอบ ความชื้นของแครกเกอร์มีแนวโน้มสูงขึ้น

จาก 5.49-5.87% เป็น 8.54-8.56% ในการเก็บ 15 วัน ขณะที่ความชื้นของแครกเกอร์ที่บรรจุในช่องทางการค้ามีแนวโน้มคงที่ ดังแสดงใน ตารางที่ 4



รูปที่ 5 ของบิสกิตจากฟิล์มสตาร์ช (ซ้าย) และสตาร์ช/แอลจิเนต 90/10 (ขวา)

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นของบิสกิตที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

Packaging	Storage time (days)			
	0	5	10	15
Commercial package (Metallize film)	5.43	5.23	5.57	5.79
Starch-Alginate (100/0)	5.49	7.16	7.73	8.54
Starch-Alginate (90/10)	5.87	7.82	8.20	8.64

4. คำานวณต้นทุนการผลิตฟิล์มและบรรจุภัณฑ์จากสตาร์ชผสมมันสำปะหลัง-แอลจิเนต

ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง เท่ากับ 0.63-2.11 บาท/แผ่นฟิล์มขนาด 30x30 cm² ขึ้นรูปเป็นซองขนาด 9x9 เซนติเมตรได้ 9 ซอง

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

1. การเตรียมสตาร์ชมันสำปะหลังตามวิธีของ กนกศักดิ์และศิริพร (2556) ได้สตาร์ชเป็นผงสีขาว มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต มีความชื้นเท่ากับ 12.58%
2. การเตรียมฟิล์มผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง-แอลจิเนต ดัดแปลงจากวิธีของ กนกศักดิ์และศิริพร (2556) และ Fazilah *et al.*, (2011) โดยแปรอัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังและแอลจิเนต เป็น 100/0 95/5 90/10 85/15 80/20 75/25 และ 70/30 ใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ความเข้มข้นเดียวกับกนกศักดิ์และศิริพร (2556) คือ 30% ของน้ำหนักของแข็ง พบว่าเมื่ออัตราส่วนความเข้มข้นของแอลจิเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของฟิล์มไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) เมื่อทดสอบการผ่านของ

แสงพบว่า ค่า % Transmittance เพิ่มขึ้น และค่า Transparency ลดลง ($P < 0.05$) แสดงว่าฟิล์มใสขึ้น ฟิล์มมีความชื้นสูงและการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นแอลจินเตเพิ่มขึ้น ขณะที่ a_w ลดลง ($P < 0.05$) เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพบว่า แอลจินเตส่งผลให้ฟิล์มความต้านทานแรงดึงขาด ซึ่งบอถึงความแข็งแรงของฟิล์มและโมดูลัสของการยืดหยุ่นซึ่งบอถึงความคงตัวเพิ่มขึ้น ขณะที่การยืดตัวลดลง ($P < 0.05$) ค่า WVP ของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง ที่ความเข้มข้นของแอลจินเตเป็น 5% และ 10% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 15-30% แต่มีค่าน้อยกว่าฟิล์มไม่ผสมแอลจินเต ($P < 0.05$) ขณะที่ OTR ของฟิล์มผสมแอลจินเตทุกตัวมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อนำมาทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่า แอลจินเตส่งผลให้ฟิล์มย่อยสลายช้าลง

3. เลือกฟิล์มผสมสตาร์ชแอลจินเตที่อัตราส่วน 90/10 มาขึ้นรูปเป็นซองบรรจุขนมปังแครกเกอร์ทดสอบการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65% เป็นเวลา 15 วันเปรียบเทียบกับฟิล์มไม่ผสมแอลจินเตและทางการค้า พบว่าซองจากฟิล์มชีวภาพทั้งสองชนิด ไม่สามารถป้องกันความชื้นให้กับขนมปังแครกเกอร์ได้ ทำให้แครกเกอร์สูญเสียความกรอบ
4. ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลัง เท่ากับ 0.63-2.11 บาท/แผ่นฟิล์มขนาด $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ขึ้นรูปเป็นซองขนาด 9×9 เซนติเมตรได้ 9 ซอง

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

สามารถนำไปเผยแพร่และพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง **คำขอบคุณ** : -

11. เอกสารอ้างอิง :

- กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ ศิริพร เต็งรัง. 2556. การเตรียมผ่านฟิล์มชีวภาพจากแป้งของพืชที่มีศักยภาพ. หน้า 312-328. ใน : รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2556. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 298 น.
- นิธิยา รัตนพานนท์. 2553. เคมีอาหาร. โอ.เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 504 หน้า.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. บริษัท เอส. พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2557. วัสดุอ่อนตัวสำหรับการบรรจุ. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทอ็อปโปเรอเป จำกัด, กรุงเทพฯ. 211 หน้า.
- AOAC. 1990. Association of Official Chemists, Official Methods of Analysis. 15th ed. Washington, D.C.
- American Society for Testing and Materials. 1994. Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM D882-10. Annual of ASTM Standard. Philadelphia.
- Bangyekan, C., Aht-Ong, D. and Srikulkit, K. 2006. Preparation and properties evaluation of chitosan-coated cassava starch films. Carbohydrate Polymers. 63: 61-71.

- Embuscado, E. Milda and Kerry C. Huber. 2009. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer. United State of America.
- Fazilah, A., M. Maizura, A. Abd Karim, K. Bhupinder, B. Rajeev, U. Uthumporn and S.H. Chew. 2011. Physical and mechanical properties of sago starch – alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal*. 18(3): 1027-1033.
- Guohua, Z., Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqiong, Z. and Zongdao, C. 2006. Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly(vinyl alcohol) blend film. *Polymer Degradation and Stability*. 91:703-711.
- Kim, S.R.B., Y. Choi, J. Kim and S. Lim. 2015. Improvement of water solubility and humidity stability of tapioca starch film by incorporating various gums. *LTW - Food Science and Technology*. 64(1): 475-482.
- Labuza, T.P. 1980. Effect of water activity reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*. 36-41.
- Lu, D.R., Xiao, C.M. and Xu, S.J. 2009. Starch-based completely biodegradable polymer materials. *Express Polymer Letters*. 3(6):366-375.
- Mahalik, N.P. and Nambiar, A.N. 2010. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. *Trends in Food Science & Technology*. 21:117-128.
- Rudnik, E. and Briassoulis, D. 2011. Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products*. 33:648-658.
- Siddaramaiah, H., T.M. Mruthyunjary Swamy, B. Ramaraj and J.H. Lee. 2008. Sodium Alginate and Its Blends with Starch: Thermal and Morphological Properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 109: 4075-4081.
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S. and Rosa, M.D. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 19:634-643.
- Solak, A.O. and S.M. Dyankova. 2014. Composite Films from Sodium Alginate and High Methoxyl Pectin Physicochemical Properties and Biodegradation in Soil. *Ecologia Balkanica*. 6(2)25-34.
- Su, J.F., Huang, Z., Yuan, X.Y., Wang, X.Y. and Li, M. 2010. Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. *Carbohydrate Polymers*. 79:145-153

Suppakul, P., Chalernsook, B., Ratisuthawat, B., Prapasitthi, S. and Munchukangwan, N. 2013. Empirical modeling of moisture sorption characteristics and mechanical and barrier properties of cassava flour film and their relation to plasticizing - antiplasticizing effects. *LWT - Food Science and Technology*. 50:290-297.

Tongdeesoontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P. and Rachtanapun, P. 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*. 5:6. (Online). Available: <http://journal.chemistrycentral.com/content/pdf/1752-153X-5-6.pdf> (1 September 2013)

Vieira, M.G.A., Silva, M.A.D., Santos, L.O.D. and Beppu, M.M. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. 47:254-263.

12. ภาคผนวก :-