

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ)/โซเดียมคาร์บอกซี เมทิล
เซลลูโลส (โซเดียม-ซี เอ็ม ซี) สำหรับประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

Improvement mechanical properties of polyvinyl alcohol (PVA)/sodium carboxymethyl cellulose (Na-
CMC) films for active packaging applications

ดารณี ขันเพชร* และ ปิยะนุช รสเครือ

Daranee Khunphet* and Piyanuch Roskhrua

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

บทคัดย่อ

เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มบางพีวีเอ/โซเดียม-ซีเอ็มซี โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเหนียวและความยืดหยุ่นให้
เหมาะสมกับการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจึงได้ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มบางพีวีเอ/โซเดียม-ซีเอ็มซีโดยละลายแป้ง (0 - 40%
โดยน้ำหนัก) และกลีเซอรอล (0 และ 15% โดยน้ำหนัก) ในน้ำร้อนแล้วทดสอบสมบัติเชิงกลและความร้อน ลักษณะพื้นผิวของ
แผ่นฟิล์มบางพีวีเอ/โซเดียม-ซีเอ็มซี/แป้งพบว่าการใช้โซเดียม-ซีเอ็มซีและแป้ง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความใสให้กับพอลิเมอร์
ผสมโดยแป้งต้องมีปริมาณไม่เกิน 40% โดยน้ำหนักและการใช้กลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นนั้นสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกล
ให้มีความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้นและเพิ่มความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสามองค์ประกอบ ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วย
การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน, ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการทดสอบแรงดึง

คำสำคัญ : พีวีเอ / แป้ง / โซเดียม-ซีเอ็มซี / วัสดุบรรจุภัณฑ์ / ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

*Corresponding author. E-mail: Science_rmutlnan2011@hotmail.com

Abstract

To improve the mechanical properties of thin films PVA/Na-CMC in particular its toughness and flexibility to be suitable for use as active packaging. The thin films were improved by mixing with starch (0 -40%wt) and glycerol (0 and 15%wt) and casting from solution in hot water as solvent. The mechanical and thermal properties and surface morphology of thin films PVA/Na-CMC/starch were investigated. It was found that addition of starch have to less than 40%wt and using glycerol as plasticizer increase flexibility property of polymer blend film and miscibility of thin films PVA/Na-CMC/starch which can confirm by thermal analysis, SEM images and tensile testing.

Keywords : PVA / starch / Na-CMC / packaging material / biodegradable

1. บทนำ

พอลิ (โพลีไวนิลแอลกอฮอล์) (PVA) เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและละลายได้ดีในน้ำมีความต้านทานต่อน้ำมัน ไขมันและสารละลายต่างๆ ดีเยี่ยมรวมทั้งมีความทนต่อแรงดึงความทนต่อการฉีกความทนต่อการกระแทกความยืดหยุ่นและการกั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง (Flieger *et al.*, 2003) สมบัติพื้นฐานของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกซึ่งขึ้นอยู่กับระดับการไฮโดรไลซิสและมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์ (DeMerlis *et al.*, 2003) PVA ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ดีในบ่อน้ำบาดน้ำเสียแต่จะย่อยสลายได้ช้าในดินนอกจากนี้การย่อยสลายของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกและน้ำหนักโมเลกุลของ PVA ผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบแผ่นฟิล์มของ PVA นอกจากสามารถนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อทั่วไปแล้วยังนำไปใช้ทางด้านอื่นๆ ได้แก่ด้านการแพทย์ ด้านสิ่งทอและด้านการเกษตร

งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติของ PVA โดยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ PVA กับพอลิเมอร์ชนิดอื่นมีผลงานตีพิมพ์หลากหลาย โดยพบว่าสารที่เติมส่วนใหญ่เพื่อลดอัตราการละลายน้ำและเพิ่มสมบัติเชิงกลของ PVA สารที่นำมาผสมกับ PVA ได้แก่ glycerol (GL) (Park *et al.*, 2005) sorbitol (SO) (Aykara *et al.*, 2006) citric acid (CA) (Park *et al.*, 2005) แป้ง เทอร์โมพลาสติก (Park *et al.*, 2005) Alginates (Aykara *et al.*, 2006) methylcellulose (MC) (Park *et al.*, 2001) carboxymethyl cellulose (CMC) (Bochek *et al.*, 2010) เป็นต้น Jang และคณะ (2003) ศึกษาผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่น (กลีเซอรอล) ต่อการหลอมเหลวและความเป็นผลึกของ PVA พบว่าเมื่อ T_m ของ PVA ลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นและ T_m จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดการแยกเฟสระหว่าง PVA และ glycerol Lu และคณะ (2011) ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์ม cellulose/polyvinyl alcohol (PVA) โดยใช้เทคนิคหล่อแบบโดยตัวทำละลาย (Solvent casting) ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้คือ 1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AMImCl) พบว่ามีการแยกเฟสจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณ PVA สูงกว่า 10%v/v นอกจากนี้ Jayasekara และคณะ (2004) ศึกษาเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จาก PVA ผสมกับแป้ง เนื่องจากแป้งมีราคาถูกและหาได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ อย่างไรก็ตามการผสมระหว่างแป้งกับ PVA และใช้กลีเซอรอล เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นพบว่าฟิล์มมี

ความยืดหยุ่นและพอลิเมอร์ทั้งสองมีความเข้ากันได้ในระดับโมเลกุลแต่อย่างไรก็ตามฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และแป้ง ยังคงมีคุณสมบัติที่ขบขันเพื่อลดอัตราการละลายน้ำ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมด้วย chitosan ทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติการละลายน้ำลดลงดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่มี PVA เป็นองค์ประกอบหลักเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมสามองค์ประกอบระหว่าง พีวีเอ แป้ง Na-CMC และสารเพิ่มความยืดหยุ่น คือ กลีเซอรอล โดยเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มบางจากสารละลายพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA แป้ง และ Na-CMC ใช้น้ำร้อนเป็นตัวทำละลาย แล้วทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมสามองค์ประกอบจากภาพถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมและการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

เตรียมพอลิเมอร์ผสมในสภาวะสารละลาย (Solution Blending) โดย PVA (M_w 125,000 g mol⁻¹, BDH Chemical Ltd), Na-CMC (M_w 700,000 g mol⁻¹, Acros Organics) และแป้งอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักเป็น 50:50:0, 45:45:10, 40:40:20, 35:35:30 และ 30:30:40 โดยชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมให้มือน้ำหนักรวม 0.50 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วที่มีฝาปิด (Screw-top Glass Bottle) แล้วเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น คือ กลีเซอรอล (99%, Sigma aldrich) ในปริมาณร้อยละ 0 และ 15 โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำร้อน 20.0 ml คนสารละลายด้วยก้อนกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงเทสารละลายพอลิเมอร์ผสมลงในแม่พิมพ์รูปร่างกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 cm วางทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง เพื่อให้ตัวทำละลายค่อยๆ ระเหยออกไปเป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน จากนั้นนำไปอบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิห้องจนน้ำหนักคงที่ ลอกฟิล์มออกจากแม่พิมพ์ เก็บฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไว้ในเคสเคเดอรัทภายใต้สูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 25 °C สำหรับวิเคราะห์สมบัติได้ทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลเทนไซน์ (LLOYD Instrument/LRX) และความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง คาลอริมิเตอร์ (Perkin Elmer/DSC 7) ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมสามองค์ประกอบ จากภาพถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL/JSM 5910-LV)

3. ผลและอภิปราย

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสามองค์ประกอบระหว่าง PVA,Na-CMC, แป้ง และกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ด้วยวิธีการผสมในสภาวะสารละลายใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลรวมทั้งลดต้นทุนในการผลิต พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง มีความหนา 86.33-95.67 μm และลักษณะทางกายภาพพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอล 0 และ 15 %wt ภาพถ่ายจากกล้องแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งลงในพอลิเมอร์ฟิล์ม ฟิล์มมีความขุ่นเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณแป้ง 40%wt ขึ้นไป ฟิล์มมีความเปราะและขุ่นมากจนไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ และจากการทดสอบสมบัติด้วยการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถยืนยันว่ามีการแยกเฟสเกิดขึ้นและจะมีการแยกเฟสขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นที่ปริมาณแป้ง 40%wt เมื่อเติมกลีเซอรอลลงไปในพอลิเมอร์ผสม พบว่า

แผ่นฟิล์มมีความใส ความเรียบของพื้นผิว และความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีโมเลกุลขนาดเล็กและกลุ่มฟังก์ชัน -OH สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับ PVA และ Na-CMC ได้ จึงทำให้พอลิเมอร์เริ่มต้นมีความเข้ากันได้และความเข้มข้นของกลีเซอรอล 15%wt สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเรียบและการแยกเฟสลดลง

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอล 0 และ 15 %wt

อัตราส่วน PVA/Na-CMC/ แป้ง(%wt)	ความเข้มข้นของกลีเซอรอล		ความเข้มข้นของกลีเซอรอล	
	0 %wt	15 %wt	0 %wt	15%wt
50/50/0				
45/45/10				
40/40/20				
35/35/30				
30/30/40				

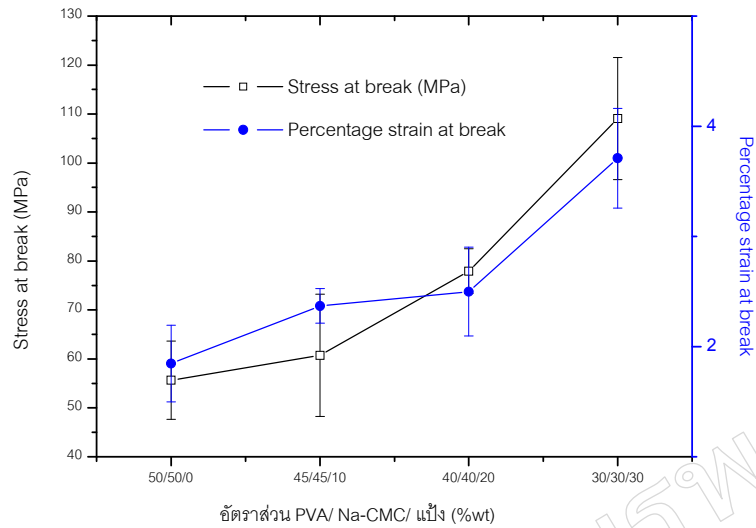
พอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ ถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและโครงสร้างพื้นฐานวิทยา โดยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริเมตรี จากผลการวิเคราะห์แสดงค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Crystalline Melting Temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization Temperature,) ความร้อนในการหลอมเหลวผลึก (ΔH_m) และความร้อนของการเกิดผลึก (ΔH_c) สำหรับการวิเคราะห์ครั้งแรก (First scan) สรุปดังตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนจะเห็นได้ว่า PVA และ Na-CMC มีอุณหภูมิลดคล้ายแก้ว (T_g) เท่ากับ 74 และ 123 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิห้อง จึงมีลักษณะสถานะพื้นฐานอยู่ในสถานะคล้ายแก้ว (glassy state) ณ อุณหภูมิห้อง ทำให้มีลักษณะแข็ง โดย PVA ปรากฏพีคของอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ที่ 189 °C แสดงว่ามีโครงสร้างของผลึกประกอบด้วย สำหรับ Na-CMC พบว่ามีอุณหภูมิลดคล้ายแก้วที่สูงมากจึงทำให้แข็งและเปราะมาก เมื่อทำการผสม PVA และ Na-CMC ในสภาวะสารละลายใช้น้ำเป็นตัวทำละลายโดยไม่มีการเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่นพบว่ามีค่าการอุณหภูมิลดคล้ายแก้ว (T_g) ลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิลดคล้ายแก้วของ PVA ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของ Na-CMC ซึ่งมีโครงสร้างใหญ่และซับซ้อน เมื่อผสมกับ PVA จึงทำให้สายโซ่ของ PVA อยู่ห่างกันมากขึ้น มีการจัดเรียงตัวของสายโซ่ อยู่แบบหลวมๆ มากขึ้น ค่า T_g จึงลดลง ดังนั้นเมื่อผสมกับ PVA จึงทำให้ T_g ของพอลิเมอร์ผสมลดลง เมื่อทำการผสม PVA Na-CMC และแป้ง ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ไม่ปรากฏ T_g ซึ่งสอดคล้องกับญานิศ และคณะ (2556) พบว่าแป้งไม่ปรากฏพีคใดๆ เนื่องจากโมเลกุลของแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยต่างแกจะมีผลกักันระหว่างประจุลบบนสายโมเลกุลและโครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น v-complex form จึงไม่พบ T_g

การเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น พบว่า T_c และ T_m ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้งทุกอัตราส่วนมีค่าลดลงเมื่อเติมกลีเซอรอล 15 wt แสดงว่ากลีเซอรอลสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์และสร้างพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สายโซ่อยู่ห่างกันมากขึ้นซึ่งส่งผลให้สายโซ่ของ PVA, Na-CMC และแป้งเกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น

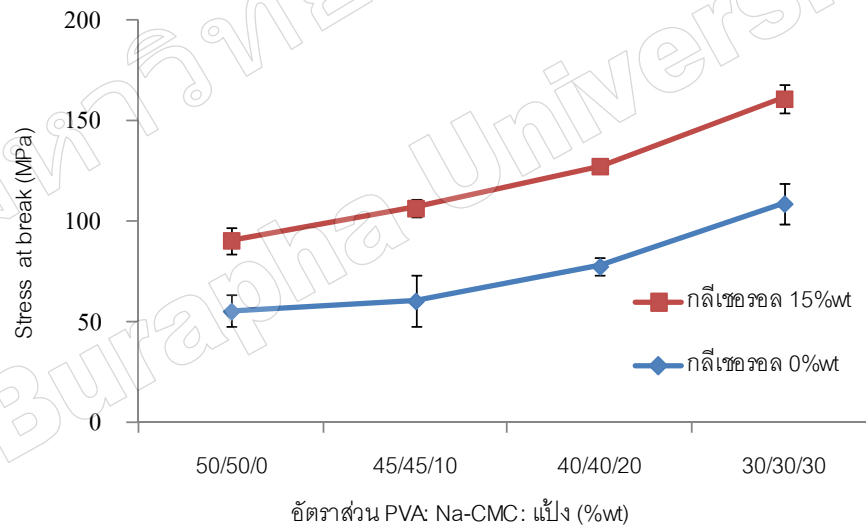
จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นพอลิเมอร์มีค่าการทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด (Stress at Break) สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ขณะที่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Percentage Strain at Break) ไม่เปลี่ยนแปลงแสดงดังภาพที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติแข็งและเปราะซึ่งส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมเด่นชัดขึ้น พอลิเมอร์ผสมจึงมีความเปราะเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณแป้งมากกว่า 20% พอลิเมอร์ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ การเติมกลีเซอรอลในของพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้งในปริมาณ 15 %wt ส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด (Stress at Break) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Percentage Strain at Break) ของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นทุกอัตราส่วนแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของพอลิเมอร์เริ่มต้นทั้งสาม มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกลีเซอรอลที่แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่และลดแรงผลักระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ลง ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ทั้งสามเกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ ลดการแยกเฟสลง และยังมีผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรง ความเหนียวและความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง

ตารางที่ 2 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิการเกิดผลึก อุณหภูมิหลอมผลึก การหลอมเหลวผลึก (ΔH_m) และความร้อนของการเกิดผลึก (ΔH_c) ของพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอล 0 และ 15%wt

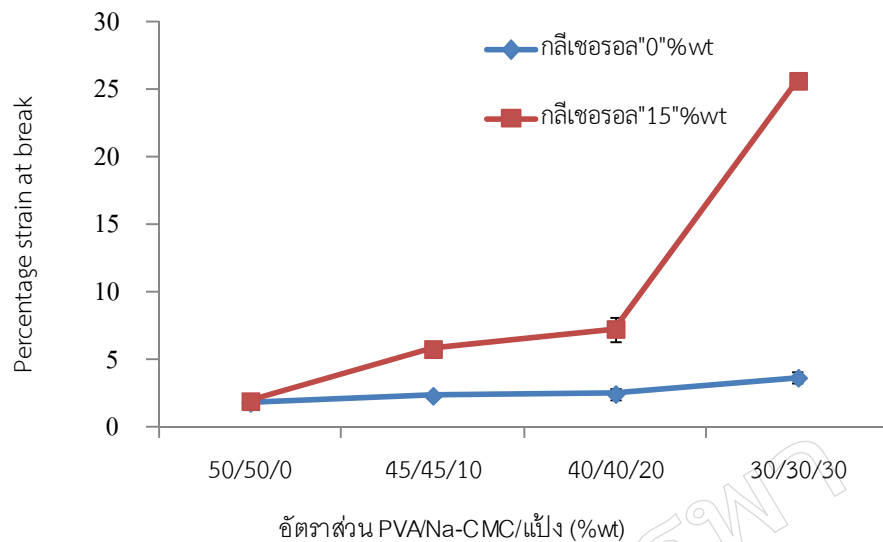
พอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้ง (%wt)				ความ เข้มข้นของ กลีเซอรอล (%wt)	สมบัติทางความร้อน				
					T_g (°C)	T_c (°C)	ΔH_c (mJ)	T_m (°C)	ΔH_m (mJ)
100/0/0				0	74	-	-	189	8.7
0/100/0				0	123	-	-	-	-
50/50/0				0	73	-	-	193	5.8
45/45/10				0	-	154	208.8	186	164.1
40/40/20				0	-	154	208.7	176	292.7
35/35/30				0	-	154	84.6	178	559.6
30/30/40				0	-	163	139.2	195	129.5
50/50/0				15	-	-	-	170	6.6
45/45/10				15	-	138	253.3	180	477.4
40/40/20				15	-	156	253.3	174	345.3
35/35/30				15	-	157	181.9	177	284.7
30/30/40	15	-	162	162.3	177		606.1		



ภาพที่ 1 ค่าการทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด (Stress at Break) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Percentage Strain at Break) ของพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้งที่อัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 2 ผลของกัดีเซอรอลต่อค่าการทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด (Stress at Break) ของพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้งที่อัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 3 ผลของกาลีเซอรอลต่อค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Percentage Strain at Break) ของพอลิเมอร์ผสม PVA/Na-CMC/แป้งที่อัตราส่วนต่างๆ

4. บทสรุป

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสามองค์ประกอบระหว่าง PVA, Na-CMC และแป้ง โดยวิธีหล่อแบบโดยใช้ความร้อนเป็นตัวทำละลายพบว่า Na-CMC และแป้ง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความใสให้กับ PVA และการเติมแป้ง 20%wt ขึ้นไปเริ่มมีการแยกเฟสเกิดขึ้น และจะมีการแยกเฟสขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นที่ปริมาณแป้ง 40%wt ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้และการใช้กาลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นนั้นสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและเพิ่มความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้งสามองค์ประกอบ ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยกราฟวิเคราะห์สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ไม่พบการแยกเฟส

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2555

6. เอกสารอ้างอิง

ญานิศานุญวัชรพันธ์, แสงระวีสุทธิปริญญาพันธ์, ผดุงขวัญจิตโรภาส. (2556).การศึกษาความเป็นไปได้ของแป้งข้าวเจ้าตัดแปรด้วยด่างในแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นสารช่วยแตกตัวในยาเม็ด, การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 14. (1069-1077).

Aykara, T. and Demirci, S. (2006). Preparation and characterization of blend films of poly(vinyl alcohol) and sodium alginate. *Journal of Macromolecular Science: Pure and Applied Chemistry*, 43, 1113-1121.

- Bocek, A. M., Shevchuk, I. L. and Kalyuzhnaya L. M. (2010). Properties of aqueous solutions of blends of polyvinyl alcohol with carboxymethyl cellulose ionized to various extents. *Russian Journal Applied Chemistry*, 83(4), 712-717.
- DeMerlis, C.C. and Schoneker, D.R. (2003). Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food Chem Toxicology Journal*, 41, 319-326.
- Flieger, M., Kantorova, M., Prell, A., Rezanka, T. and Votruba, J. (2003). Biodegradable plastics from renewable sources. *Folia Microbiologica Journal*. 48(1), 27-44.
- Jang, J. and Lee, D. K. (2003). Plasticizer effect on the melting and crystallization behavior of polyvinyl alcohol. *Polymer Journal*, 44, 8139-8146.
- Jayasekara, R., Harding, I., Bowater, I., Christie, G.B.Y. and Lonergan, G.T. (2004). Preparation, surface modification and characterisation of solution cast starch PVA blended films. *Polymer Testing Journal*, 23, 17-27.
- Lu, Y., Liu, Y.X., Yu, H.P. and Sun, Q. F. (2011). Preparation, characterization and biocompatibility of regenerated cellulose/PVA blend membranes in 1- Allyl-3-Methylimidazolium Chloride. *Journal of Advanced Materials Research*, 179-180, 1108-1111.
- Park, H.R., Chough, S.H., Yun, Y.H. and Yoon, S.D. (2005). Properties of starch/PVA blend films containing citric acid as additive. *Journal Polymer Environment*, 13(4), 375-382. Park, J.S., Park, J.W. and Ruckenstein, E. (2001). Thermal and dynamic mechanical analysis of PVA/MC blend hydrogels. *Polymer Journal*, 42, 4271-4280,