



การเตรียมพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติ
และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Preparations of Semi-interpenetrating polymer network from
natural rubber latex and polyvinyl alcohol

เสาวลักษณ์ บุญยอด^{1*} ชัยวุฒิ วัชจัน¹ และ มหาหะสุโฮมี มะแซ²

¹สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการยาง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

*E-mail: saowaluk_boonyod@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยศึกษาสัดส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 และศึกษาปริมาณกรดมาลิกที่ใช้เป็นสารเชื่อมโยงที่ร้อยละ 0, 4, 8, 12 และ 16 โดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมที่อุณหภูมิห้อง เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (ATR FT-IR) พบหมู่ไฮดรอกซิล ตำแหน่งเลขคลื่นที่ $3500 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งพบได้ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีสมบัติชอบน้ำ โดยสัดส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 60:40 และปริมาณกรดมาลิกที่ร้อยละ 12 โดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีร้อยละการดูดซึมน้ำได้ดีที่สุดประมาณ 69.64 ภายในเวลา 72 ชั่วโมง เกิดรูพรุนมากที่สุดยืนยันได้จากการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา และจากการทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่องเทอร์โม

Received: January 30, 2017

Revised: May 16, 2017

Accepted: May 17, 2017

กราฟิเมตริก อนุไลซิส (TGA) พบว่า การสลายตัวของพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีค่าการทนต่อความร้อนดีขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

คำสำคัญ: พอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงร่างตาข่าย น้ำยางธรรมชาติ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ การดูดซึมน้ำ

Abstract

This research aims to study the preparation of Semi-interpenetrating polymer network from natural latex (NR) and polyvinyl alcohol (PVA). Firstly, the ratio of NR and PVA was varied (i.e. 60:40, 70:30, 80:20 and 90:10). And then, the maleic acid proportion varies for crosslink agent (i.e. at 0, 4, 8, 12 and 16% w/w PVA) was studied. The mixture was stirred under room temperature and crosslink at 120°C for 1 hour. The samples were characterized by Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR). It was found that the absorption band at 3500 - 3200 cm^{-1} was detected and the vibration of -OH which is found in PVA and Semi-interpenetrating polymer network that are amongst the hydrophobic properties. The results showed that ratio of NR and PVA at 60:40 and amount of maleic acid at 12 % w/w PVA have the highest percentage of adsorption around 69.64% for 72 hours. These samples appear porous which investigated by morphology technique. The disintegrated temperature of polymer network was measured by Thermo gravimetric analysis (TGA) technique. The results showed that the disintegrated temperature of Semi-IPN. NR / PVA have thermal resistance better than PVA.

Keywords: Semi-Interpenetrating Polymer Network, Natural rubber, polyvinyl alcohol, Water adsorption

1. บทนำ

พอลิเมอร์เชื่อมโยงโครงร่างตาข่าย (Interpenetrating polymer network; IPN) คือ พอลิเมอร์ที่มีโครงร่างตาข่าย 2 ชนิดแทรกกันอยู่ เป็นการรวมกันของสองพอลิเมอร์ ซึ่งอยู่ในลักษณะที่เป็นโครงร่างตาข่าย โดยอย่างน้อยจะต้องมีโครงร่างตาข่ายหนึ่งเกิดขึ้นมาก่อนหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ก่อน แล้วจากนั้นสายโซ่ของพอลิเมอร์อีกตัวหนึ่งจะเข้าไปแทรกสอดแล้วสร้างเป็นโครงร่างตาข่ายขึ้นอีกอันขึ้นมา

ไฮโดรเจลที่เตรียมจาก IPN เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำอยู่ภายใน โครงสร้าง การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์

เชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายสามารถดูดซึมน้ำได้โดยการเกิดปฏิกิริยาหรืออันตรกิริยาทางเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำกับโมเลกุลของน้ำ เช่น ไฮดรอกซิล (-OH) คาร์บอกซิล (-COOH) และเอไมด์ (-COONH₂ หรือ COONH-) เป็นต้น [1] และในระหว่างการดูดซึมน้ำพอลิเมอร์เชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายสามารถคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำโดยทั่วไปแล้วจึงนำไปผลิตเป็นไฮโดรเจล ซึ่งจะผลิตมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภท พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) อะคริเลตพอลิเมอร์ (Acrylate polymers) และ โคลิพอลิเมอร์ (Polymers) ที่ประกอบด้วยโครงสร้างของหมู่ฟังก์ชันไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic functional groups) ในปริมาณสูง ๆ [1]

จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้มีการนำไฮโดรเจลที่เตรียมจาก IPN ไปประยุกต์ใช้งานหลายๆ ด้าน เช่น การนำส่งยา การดูดซับโลหะหนัก และวัสดุปิดแผล เป็นต้น [2] ซึ่งพอลิเมอร์ดังกล่าวใช้ปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตทั้งสิ้น [1] ดังนั้นจึงมีราคาแพงและมีโอกาสที่จะขาดแคลนในอนาคต

ปัจจุบันมีการนำเอายางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) มาเตรียมเป็นไฮโดรเจล ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีต้นทุนทางวัตถุดิบที่ราคาถูก และเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกด้วย NR มีคุณสมบัติเด่น คือ มีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีแรงกระทำกับยางและจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ NR ยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) อีกด้วย แต่ NR มีข้อเสียที่สำคัญ คือ การเสื่อมสภาพภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน ยิ่งไปกว่านั้น NR เป็นพอลิเมอร์ชนิดไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) หรือ ไม่ชอบน้ำ เพราะเป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วและมีเพียงหมู่เมทิล ($-CH_3$) เป็นหมู่ข้างเคียง (Side groups) ดังนั้น การนำ NR มาเตรียมเป็นไฮโดรเจลจะต้องมีการปรับปรุงยางธรรมชาติโดยการเติมหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิกลงบน โมเลกุลของยาง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิกได้แก่ ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิล คีโตน อะซิเตท มาลิกแอตไฮโดร ฯลฯ การเติมหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ลงบนยางทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและการกราฟต์บนสายโซ่ของโมเลกุลยางธรรมชาติ [1] พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol; PVA) เป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล โดยสังเคราะห์ขึ้นจากสารตั้งต้นที่ได้จากสารปิโตรเคมี และมีสมบัติเด่นคือ ไม่มีพิษ ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ ซึ่ง

หมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของ PVA มีความเป็นไฮโดรฟิลิกสูง จึงสามารถดูดซึมของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวกลางได้ดีมาก และจะดูดซึมของเหลวได้มากขึ้น 12 เท่าของน้ำหนักแห้ง [3] โดยมีการนำยางธรรมชาติอีพอกไซค์และ PVA ที่มีขั้วสูงกว่า มาเตรียมเป็นเยื่อเลือกผ่าน โดยใช้เทคนิคการเตรียมพอลิเมอร์แบบกึ่งโครงร่างตาข่ายให้เป็นแบบโครงร่างตาข่าย (Semi- Interpenetrating polymer network ; semi-IPN) [4] ซึ่งพอลิเมอร์แบบกึ่งโครงร่างตาข่าย (Semi- Interpenetrating polymer network; semi-IPN) ประกอบด้วยพอลิเมอร์แบบเส้นแทรกอยู่ในพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่เป็นโครงร่างตาข่าย ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์อีกทางหนึ่ง เพื่อเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมไฮโดรเจลจากน้ำยางธรรมชาติกับ PVA โดยศึกษาสัดส่วนของ NR:PVA และปริมาณสารเชื่อมโยง เพื่อเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำ สังเคราะห์โดยใช้วิธีการเตรียมพอลิเมอร์เชื่อมโยงกึ่งโครงร่างตาข่าย (Semi- Interpenetrating polymer network; Semi-IPN)

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์เชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายจาก NR และ PVA

นำน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia natural rubber latex concentrate ปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 จากบริษัท เคมีคอล แอนด์แมททีเรียลส์ จำกัด) ปรับความเข้มข้นให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งเป็นร้อยละ 30 แล้วเติมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide; KOH จากบริษัท Laboratory Reagents & Fine Chemicals จำกัด) เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างและสารลดแรงตึงผิวชนิด non-ionic surfactant เพื่อป้องกันการเสียน

เสถียรภาพของน้ำยาง โดยใช้ฮีมีลวิน คับเบิลยู เอ (Emulvin WA จากบริษัท Connell Bros. (Thailand) จำกัด) จากนั้นกวนเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเวลา ประมาณ 15 นาที จากนั้นละลาย PVA (บริษัท เคมี คอล แอนด์ แมททีเรียลส์ จำกัด) กับน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมกรดมาลิก (Maleic acid จากบริษัท เคมีคอล แอนด์ แมททีเรียลส์ จำกัด) ที่ 0, 4, 8, 12 และ 16 % w/w ของ PVA เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมโยง นำน้ำยางที่ เตรียมไว้มาผสมกับ PVA ในอัตราส่วน NR:PVA ดังนี้ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ให้เป็นเนื้อ เดียวกัน กวนสารทั้งหมดให้เข้ากันเป็นเวลา ประมาณ 1 ชั่วโมง เทลงแม่พิมพ์กระจก นำเข้าตู้อบ ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา ประมาณ 36 ชั่วโมง จนแห้ง จากนั้นเชื่อมโยงสาย ใช้ PVA ด้วยการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบ สมบัติต่าง ๆ

2.2 ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่ง โครงสร้างตาข่ายจาก NR และ PVA

2.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ [5]

(Water adsorption)

เตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด 1x1 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.5-0.6 มิลลิเมตร แช่ในน้ำกลั่น 20 มิลลิตร โดยใช้สมการคำนวณ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = (W_2 - W_1)/W_1 \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักขณะแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักขณะเปียก (กรัม)

2.2.2 การหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจลและ ส่วนที่ละลายได้ในน้ำ (Gel and soluble fraction)

เตรียมชิ้นทดสอบน้ำหนักประมาณ 0.1 กรัม โดยการละลายแผ่น Semi-IPN NR/PVA ในน้ำ กลั่น 20 มิลลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กวนที่ 200 รอบ/นาที โดยใช้สมการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Sol (\%)} + \text{Gel (\%)} = 100$$

โดยที่ Sol คือ ส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลาย

Gel คือ ส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย

2.2.3 ศึกษาเอกลักษณ์โครงสร้างทางเคมี ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปค- โทรสโกปี (Fourier transforms infrared spectroscopy: FTIR)

ทดสอบโดยใช้เทคนิค ATR-IR เพื่อวัด การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 4000-700 cm^{-1} รุ่น Perkin Elmer 1760X บริษัท Perkin-Elmer ประเทศ สหรัฐอเมริกา

2.2.4 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เตรียมชิ้นทดสอบด้วยการเคลือบทอง บริเวณที่ต้องการศึกษาและทดสอบสัณฐานวิทยา ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning electron microscopy; SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น JEOL JEM 5410-LV

2.2.5 ศึกษาความเสถียรภาพทางความร้อน

โดยใช้เทคนิค เทอร์โมกราวิเมตริก (Thermo gravimetric analysis; TGA) รุ่น Thermoplus TG 8120 บริษัท Rigaku ประเทศ ญี่ปุ่น

ตารางที่ 1 ปริมาณของสารที่ใช้เตรียม Semi-IPN NR/PVA

ส่วนผสม	ปริมาณ
60% น้ำยางข้น	} 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 *
6% Polyvinyl alcohol ; PVA	
10% Potassium Hydroxide ; KOH	5 phr
50% Emulvin WA	5 phr
Maleic acid	0, 4, 8, 12, 16 w/w of PVA

phr = ส่วนในร้อยส่วน โดยน้ำหนักของยาง

* คัดอัตราส่วนต่อน้ำหนักแห้งระหว่าง NR และ PVA

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง NR และ PVA

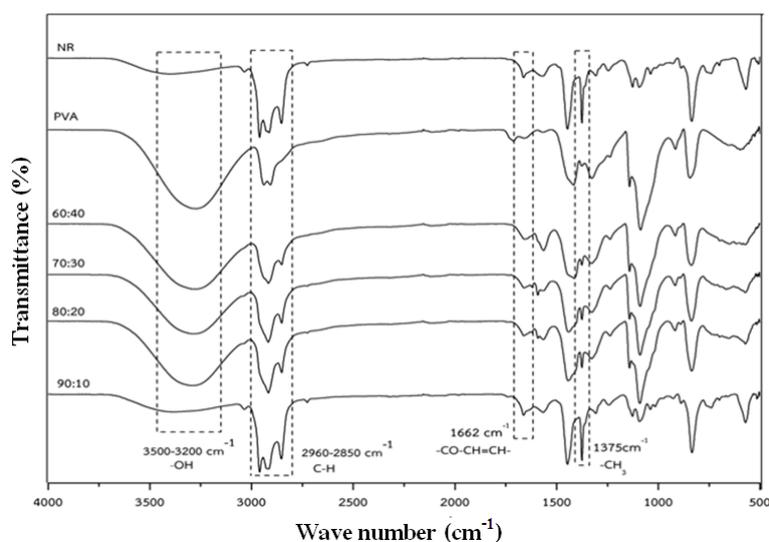
คุณสมบัติของ Semi-IPN NR/PVA

3.1.1 เอกลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ

Semi-IPN NR/PVA

นำตัวอย่าง PVA, NR และ Semi-IPN NR/PVA ที่อัตราส่วนแตกต่างวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วง $700-4000\text{ cm}^{-1}$ โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR ผลการวิเคราะห์แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของ PVA NR และ Semi-IPN NR/PVA ที่

อัตราส่วนระหว่าง NR:PVA (60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10) โดยปรากฏเลขคลื่นในช่วง $3500-3200\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของ $-\text{OH}$ ซึ่งพบในโครงสร้างของ PVA และ Semi-IPN NR/PVA [6] ปรากฏเลขคลื่นในช่วง $2960-2850\text{ cm}^{-1}$ และ 1375 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-H และ $-\text{CH}_3$ ตามลำดับ ที่มีอยู่ใน NR [7] ปรากฏเลขคลื่นในช่วง 1662 cm^{-1} และ 1644 cm^{-1} เป็นการสั่นของ $-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}-$ และ $\text{C}=\text{C}$ [6] แสดงให้เห็นว่า เกิดการผสมกันระหว่าง NR และ PVA แสดงดังรูปที่ 1

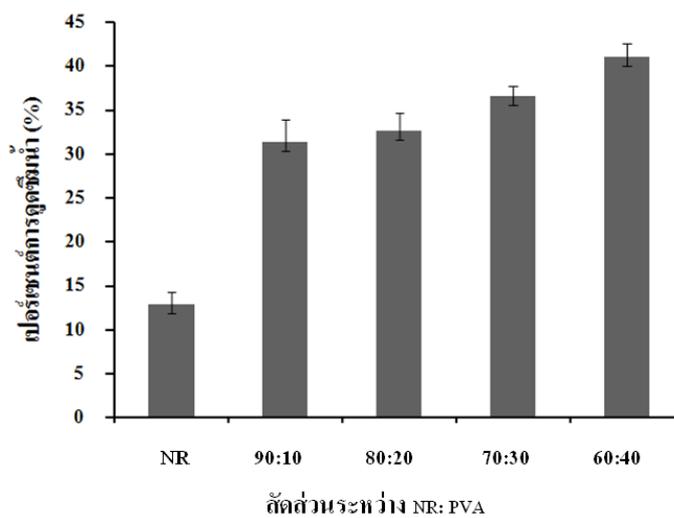


รูปที่ 1 ATR - FTIR สเปกตรัมของ NR, PVA และ Semi-IPN NR/PVA แปรสัดส่วนระหว่าง NR ต่อ PVA

3.1.2 สมบัติการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA

จากรูปที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA แปรสัดส่วนระหว่าง NR ต่อ PVA (60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ PVA มีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-

IPN NR/PVA เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนระหว่าง NR ต่อ PVA 60:40 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดคือ 41.93% เนื่องจาก โมเลกุลของ PVA มีหมู่ไฮดรอกซิลในปริมาณมาก ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ จึงสามารถดูดน้ำเข้ามาใน โครงสร้าง Semi-IPN NR/PVA ได้สูง จึงมีอัตราเร็วในการดูดซึมน้ำที่สูง ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่ดูดน้ำ คือ PVA [7]

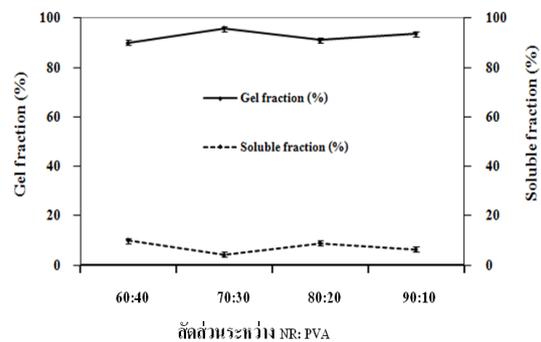


รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA

3.1.3 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนการเกิดเจลและส่วนที่ละลายได้ในน้ำ

จากรูปที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการเกิดเจล (Gel) และส่วนที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble fraction) ของ Semi-IPN NR/PVA ที่แปรสัดส่วนระหว่าง NR และ PVA 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ใช้กรดมาลิก 2 % w/w ของ PVA พบว่า ที่สัดส่วน 60:40 มีเปอร์เซ็นต์เจลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วน 90:10 เนื่องจากสัดส่วน 60:40 มีปริมาณของ PVA สูงกว่า แสดงให้เห็นว่า สัดส่วน 60:40 มีส่วนที่ละลายได้ในน้ำมาก อาจเป็นเพราะว่าการเข้ากันของ NR และ PVA จะเกิดได้ค่อนข้างน้อย เมื่อ

ปริมาณ PVA สูง เนื่องจาก PVA มีหมู่ -OH ซึ่งมีความเป็นขั้วสูง แตกต่างกับ NR มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่มีขั้ว [8]



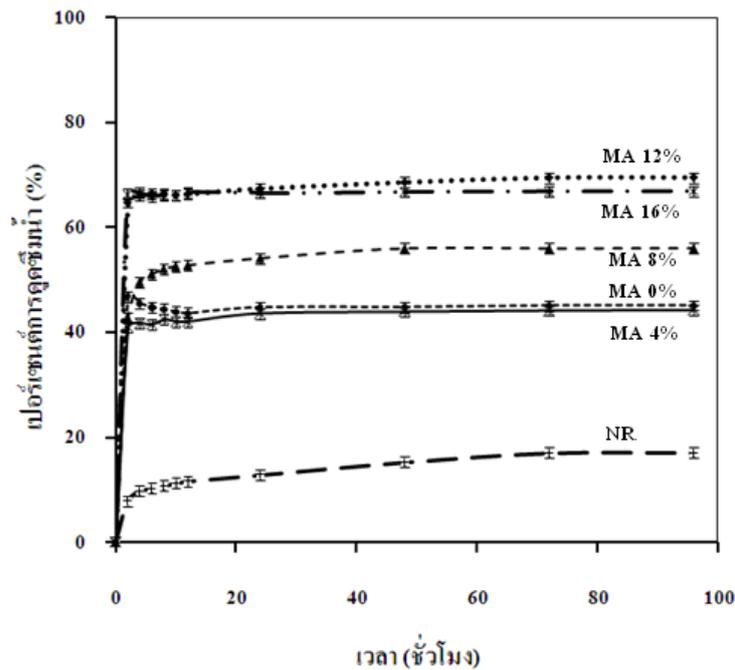
รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนการเกิดเจลและส่วนที่ละลายได้ในน้ำ

3.2 ผลของการแปรปริมาณ กรดมาลิกต่อสมบัติของ Semi-IPN NR/PVA

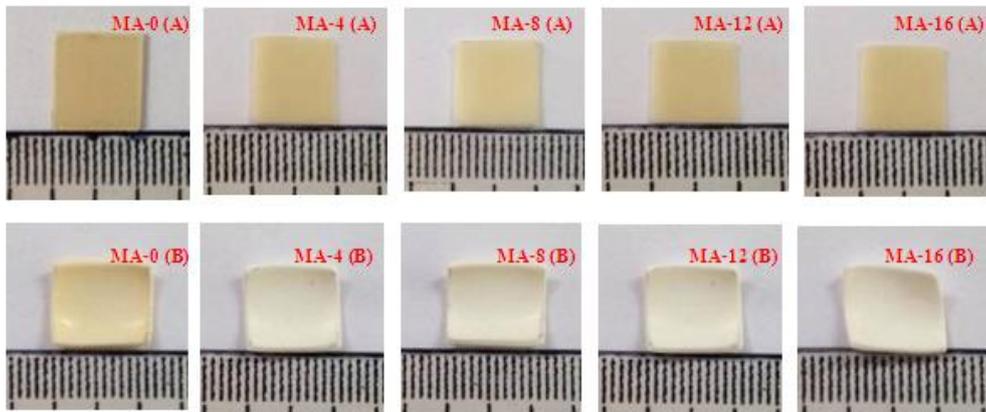
3.2.2 สมบัติการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA

จากรูปที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA ที่สัดส่วน 60:40 โดยแปรปริมาณกรดมาลิกที่ 0, 4, 8, 12 และ 16% w/w ของ PVA พบว่า เมื่อปริมาณกรดมาลิกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณกรดมาลิก 12% w/w ของ PVA มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงที่สุด คือ 69.64% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดมาลิกที่ 16% w/w ของ PVA จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำลดลงเนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดมาลิกทำให้ Semi-IPN NR/PVA มีการเชื่อมโยงที่หนาแน่นขึ้น ส่งผลให้มี free volume น้อย ความยืดหยุ่นในโครงสร้างลดลง น้ำแพร่ผ่านเข้าได้ยาก [7]

จากรูปที่ 5 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA ที่แปรปริมาณกรดมาลิกที่ 0, 4, 8, 12 และ 16% w/w ของ PVA หลังจากการทดสอบแช่น้ำกลั่น เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าขนาดของตัวอย่างมีการขยายตัวใหญ่ขึ้น เมื่อเวลาการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยปริมาณกรดมาลิกที่ 12% w/w ของ PVA มีขนาดใหญ่มากที่สุด ซึ่งขนาดของชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก $1 \times 1 \times 0.5$ เซนติเมตร เป็น $1.1 \times 1.1 \times 0.8$ เซนติเมตร และสีของชิ้นตัวอย่างจะจางลงจนเป็นสีขาว เมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่เติมมาลิก เป็นผลจากการดูดซึมน้ำเข้าไปในโครงสร้าง Semi-IPN NR/PVA ทำให้โครงสร้าง Semi-IPN NR/PVA เกิดการขยายตัวที่มาก เมื่อเวลาการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยปริมาณกรดมาลิกที่ 12% w/w ของ PVA มีขนาดใหญ่มากที่สุด เนื่องจากดูดซึมน้ำได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA



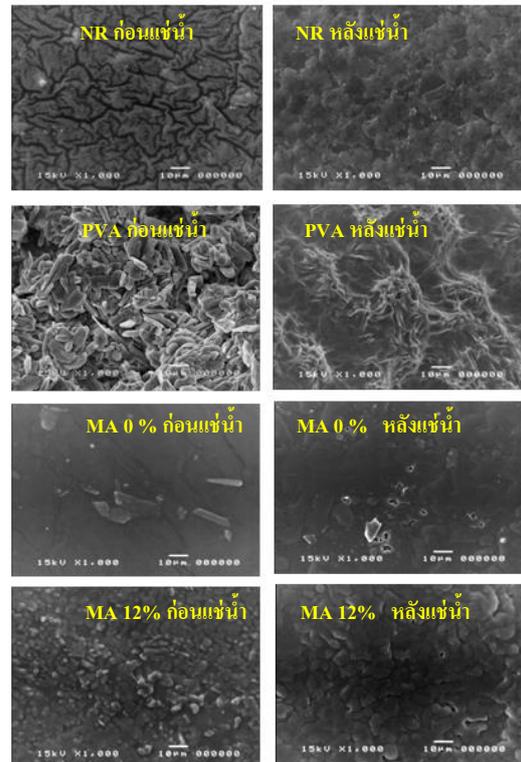
รูปที่ 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/PVA



รูปที่ 5 ลักษณะของ Semi-IPN NR/PVA ที่แปรปริมาณกรดมาลิก (A) ก่อนและ (B) หลังแช่น้ำ

3.2.3 สัณฐานวิทยาของ Semi-IPN NR/PVA

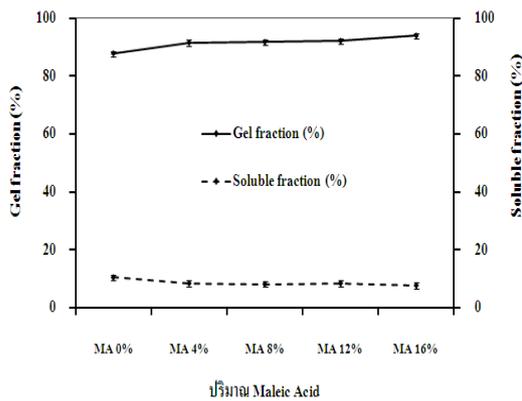
จากรูปที่ 6 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของ Semi-IPN NR/PVA แปรปริมาณกรดมาลิกที่ 0, 4, 8, 12 และ 16 % w/w ของ PVA ก่อนและหลังแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า พื้นผิวของตัวอย่าง Semi-IPN NR/PVA ก่อนแช่น้ำจะไม่มีรูพรุน แต่หลังแช่น้ำกลับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดรูพรุนขึ้น ซึ่งรูพรุนนี้เกิดจากการที่น้ำเข้าไปแทรกอยู่ภายในโครงสร้าง Semi-IPN NR/PVA อาจมีบางส่วนเกิดจากการละลายน้ำของ PVA ทำให้ PVA เกิดการหลุดออกจากโครงสร้างของ Semi-IPN NR/PVA แต่เนื่องจากลักษณะรูพรุนมีขนาดเล็กและอยู่กระจัดกั้นอยู่จึงไม่สามารถเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนได้



รูปที่ 6 สัณฐานวิทยาของ Semi-IPN NR/PVA

3.2.4 เปอร์เซนต์สัดส่วนการเกิดเจลและส่วนที่ละลายได้ในน้ำ

จากรูปที่ 7 แสดงเปอร์เซนต์สัดส่วนการเกิดเจล (Gel) และส่วนที่ละลายได้ในน้ำ (Soluble fraction) ของ Semi-IPN NR/PVA แปรปริมาณกรดมาลิกที่ 0, 4, 8, 12 และ 16 % w/w ของ PVA พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกรดมาลิก เปอร์เซนต์เจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณส่วนที่ละลายได้ในน้ำลดลง เนื่องจากกรดมาลิกเป็นสารเชื่อมโยง PVA ในตำแหน่ง -OH ซึ่งการเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดมาลิก ทำให้สารที่ละลายนั้น คือ PVA ที่ไม่ถูกเชื่อมโยง [8]

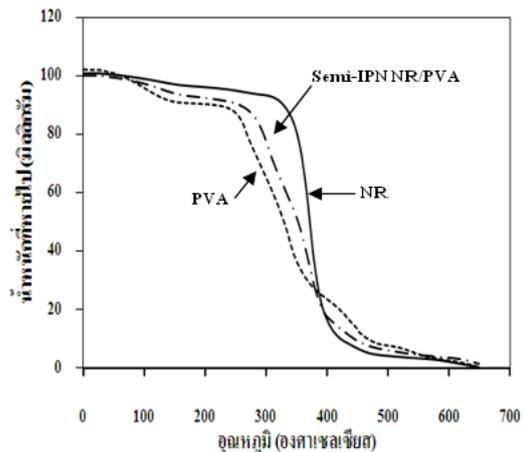


รูปที่ 7 เปอร์เซนต์สัดส่วนเจลและส่วนที่ละลายได้ในน้ำ

3.2.5 อุณหภูมิการสลายตัวของ Semi-IPN NR/PVA

จากรูปที่ 8 แสดงการสลายตัวของ NR, PVA และ Semi-IPN NR/PVA ซึ่งการสลายตัวของ Semi-IPN NR/PVA (สัดส่วนระหว่าง NR ต่อ PVA ที่ 60:40 กรดมาลิก 12 % w/w ของ PVA) จะมีการสลายตัว 3 ครั้ง เป็นผลมาจากการสลายตัวของ PVA และ NR ที่เป็นองค์ประกอบ โดยจะพบการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของความชื้นหรือโมเลกุลของน้ำที่หลงเหลืออยู่ และ 500-600 องศาเซลเซียส [9] เป็น

การสลายตัวของ PVA ซึ่งคล้ายคลึงกับที่พบในการสลายตัวของ pure PVA สำหรับการสลายตัวครั้งที่ 3 เป็นการสลายตัวของ NR ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งใน Semi-IPN NR/PVA โดยพบในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส ซึ่งคล้ายคลึงกับที่พบใน pure NR จึงเป็นผลทำให้ Semi-IPN NR/PVA (สัดส่วนระหว่าง NR ต่อ PVA ที่ 60:40 MA 12 % w/w ของ PVA) มีค่าการทนต่อความร้อนดีขึ้นเมื่อเทียบกับ PVA [10] เนื่องจาก Semi-IPN NR/PVA มีองค์ประกอบของ NR ที่มีการสลายตัวสูงกว่า PVA ซึ่งถูกสังเคราะห์ให้เกิดโครงสร้างแทรกสอด ทำให้เกิดความเข้ากันของ พอลิเมอร์สองชนิด คือ NR และ PVA ทำให้ Semi-IPN NR/PVA มีสมบัติการทนต่อความร้อนสูงกว่า PVA แต่ต่ำกว่า NR



รูปที่ 8 กราฟ TGA ของ NR, PVA และ Semi-IPN NR/PVA

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการแปรสัดส่วนระหว่าง NR ต่อ PVA พบว่าที่สัดส่วน 60:40 ปริมาณกรดมาลิกใช้เป็นสารเชื่อมโยงที่ 12 % w/w ของ PVA มีเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำดีที่สุดประมาณ 69.64% ที่เวลา 72 ชั่วโมง ยืนยันได้จากการทดสอบสัณฐานวิทยาของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่ทำการแช่น้ำ

กลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่พบรูปพูนขึ้นมากที่สุด และจากการทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวของ Semi-IPN NR/PVA พบว่า การสลายตัวของ Semi-IPN NR/PVA มีค่าการทนต่อความร้อนดีขึ้นเมื่อเทียบกับPVA

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุฤกษ์ คงทอง. การศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติ, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2551
- [2] สายันต์ แสงสุวรรณ, วารุณี ตานันต์. พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก: การสังเคราะห์ การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2557. ปีที่ 16 ฉบับที่ 2: 63-81.
- [3] Bing-Joe Hwang, John Rick, Yun-Sheng Ye. Water Soluble Polymers as Proton Exchange Membranes for Fuel Cells, *Polymers*, 2012 4: 913-963.
- [4] S. Riyajan, S. Chaiponban, K. Tanbumrung. Investigation of the preparation and physical properties of a novel semi-interpenetrating polymer network based on epoxised NR and PVA using maleic acid as the crosslinking agent, *Chemical Engineering*, 2009. 153: 199–205.
- [5] อุมภาพร ไชยสุวรรณ, อุไรวรรณ พันธุ์แก่น. ไฮโดรเจลเชื่อมโยงแบบโครงร่างตาข่ายของยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง, สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการยางภาควิชาเคมีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2555.
- [6] S.B. Lin, Cong-Hui Yuana. Ai-Ru Kea, Zhi-Long Quana. Electrical reponse characterization of PVA-P(AA/AMPS)IPN hydrogel in aqueous Na2SO4 solution. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2008.134,1,28 ,281-286.
- [7] A.K. Bajpai, J. Bajpai, S.Shukla. Water absorption through a semi-interpenetration polymer network (IPN) with hydrophilic and hydrophobic chains. *Reactive & Functional Polymer* . 2001.50.9-21.
- [8] A. Fahmy, E. A. Kamoun, R. El-Eisawy . Poly (vinyl alcohol)-hyaluronic Acid Membranes for Wound Dressing Applications: Synthesis and in vitro Bio-Evaluations. *J Braz. Chem. Soc.* 2015.Vol. 26. No.7. 1466-1474.
- [9] H. H. El-Nahas, M. M. Magida . The Use of Interfacial Blend to Increase the Adhesion Propertiesof Natural Rubber/ Polyvinyl alcohol Multilayer Using Electron Beam Irradiation. *J Polym Environ.* 2012.20:70–79.
- [10] กิตติมา อรุณสิงครรัตน์. การวิเคราะห์โคพอลิเมอร์ยางกราฟต์พอลิไสตรีน ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มสธ. 2554. ครั้งที่ 1.