

ผลของอัตราส่วนยางและแป้งต่อสมบัติของไฮโดรเจลชนิดพอลิเมอร์เชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่ายและการประยุกต์ใช้ในการปลูกดาวเรือง

Effects of Rubber/Starch Ratio on the Properties of Hydrogel Semi-interpenetrating Polymer Network and Marigold Planting Application

ชัยวุฒิ วัชรจิ่ง

ห้องปฏิบัติการวัสดุพอลิเมอร์และยางขั้นสูง (APRM) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการยาง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Email: chaiwute2110@gmail.com, scchaiwu@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เตรียมไฮโดรเจลเชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่าย (Semi-Interpenetrating polymer network; Semi-IPN) ของยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) และแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch; St) (Semi-IPN NR/St) ด้วยวิธีการผสมน้ำยางข้นและแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการเจลาติไนซ์ โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulphate) และ N,N'-methylene-bis-acrylamide (MBA) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมขวางตามลำดับ จากการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง (NR/St) ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำและประสิทธิภาพในการใช้งานของ Semi-IPN NR/St พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน NR/St โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ St และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงสุดประมาณ 140 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏที่อัตราส่วน NR/St ที่ 30/70 ในขณะที่เสถียรภาพในการใช้งานลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ St

คำสำคัญ : ไฮโดรเจล ยางธรรมชาติ แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

Semi-interpenetrating polymer network (Semi-IPN) hydrogel of natural rubber and cassava starch (Semi-IPN NR/St) were prepared by blending concentrated natural rubber latex and gelatinized cassava starch using potassium persulphate and N, N'-methylene-bis-acrylamide (MBA) as an initiator and a crosslinking agent respectively. The influence of the natural rubber and cassava starch ratio (NR/St) on the water absorption and using efficiency properties of Semi-IPN NR/St were investigated. The results showed that the water absorption and the usage stability properties of the Semi-IPN NR/ST were a ratio of natural rubber and cassava starch. The percentage of the water absorption of Semi-IPN NR/St increased with increasing St ratio. The highest percentage of the water absorption of Semi-IPN NR/St was ca. 140% at 30/70 of NR/St ratio, while the using efficiency decreased with increasing St ratio.

Keywords: Hydrogel; Natural rubber; Cassava starch

บทนำ

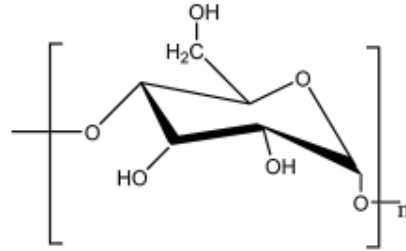
ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์เชื่อมขวาง (Cross-linked polymer) ที่มีความชอบน้ำ สามารถดูด

ซึมน้ำหรือสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายในปริมาณมากโดยไม่เกิดการละลาย [1] จากสมบัติการกักเก็บของเหลวและรักษารูปร่างไว้ได้ของไฮโดรเจล

จึงนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น ด้านเกษตรกรรม ใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำและธาตุในดินไม่ให้ถูกชะล้างลงไปดินชั้นล่าง ด้านการแพทย์ ใช้ในระบบการส่งถ่ายยา [1-2] และเป็นแผ่นติดแผล ทำให้แผลหายเร็วขึ้น เป็นต้น แต่เนื่องจากไฮโดรเจลที่มีจำหน่ายในท้องตลาด สังเคราะห์ขึ้นจากสารตั้งต้นที่ได้จากสารปิโตรเคมี เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) [3] พอลิอะคริลิกแอซิด (Poly (acrylic acid)) และ พอลิอะคริลลาไมด์ (Poly (acrylamide)) [4] เป็นต้น ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่นับวันจะหมดไปจากโลกนี้ จึงมีการวิจัยเพื่อนำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมเป็นไฮโดรเจล เช่น โคลโตซาน [5, 6] แพคติน [7] และแป้ง [8] เป็นต้น โดยเฉพาะแป้งเป็นวัตถุดิบที่มีเป็นจำนวนมากในธรรมชาติและทางการเกษตร

แป้งมันสำปะหลังเป็นสินค้าเกษตรกรรมที่มีมากในประเทศไทย ภายในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งทำให้แป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซับน้ำได้ แต่เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย ยีสต์ และรา จึงไม่เหมาะสมที่จะนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นไฮโดรเจลที่ใช้ในทางการเกษตร เพราะจะทำให้อายุการใช้งานของไฮโดรเจลสั้นลง

ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นในด้านความยืดหยุ่น (Elasticity) การเหนียวติดกัน (Tack) ดีเยี่ยม เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพยาก ถ้านายางธรรมชาติมาใช้ผลิตไฮโดรเจลร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง น่าจะสามารถยืดอายุการใช้งานของไฮโดรเจล ในงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมไฮโดรเจล จากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีความชอบน้ำและสามารถดูดซับน้ำได้ดี และนายางธรรมชาติที่มีสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำมาใช้ร่วมกัน โดยการเชื่อมขวางแบบกึ่งโครงสร้างตาข่าย (Semi-IPN) ด้วย N,N'-methylene-bis-acrylamide (MBA) ผ่านพันธะคู่ของยางธรรมชาติ เพื่อให้เกิดความเข้ากันระหว่างแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติมากขึ้น ได้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติการดูดซับน้ำ



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง [11]

ที่ดี ย่อยสลายทางชีวภาพช้าลงและสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำในดินสำหรับปลูกดาวเรืองได้ โดยดาวเรืองเป็นดอกไม้ที่นิยมในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทยมีการปลูกดาวเรืองทั่วทุกภาคมานาน ซึ่งการปลูกดาวเรืองเพื่อเป็นไม้ดอกไม้ประดับและใช้ผสมในอาหารเลี้ยงไก่ เป็นต้น สำหรับดินที่ใช้ปลูกดาวเรืองควรเป็นดินที่ระบายน้ำและเก็บรักษาความชื้นได้ดี [9] หากปลูกในเขตพื้นที่แห้งแล้งและดินเก็บรักษาความชื้นไม่ได้ จะทำให้ผลผลิตของดาวเรืองได้น้อย มีการนำไฮโดรเจลสังเคราะห์จากปิโตรเคมีมาใช้ในการปลูกดาวเรือง ทำให้ดาวเรืองเจริญเติบโตได้ดี แม้ว่าปริมาณความชื้นจากภายนอกวัสดุปลูกจะน้อยก็ตาม [10] ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ใช้ไฮโดรเจลที่เตรียมจากยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลังในการปลูกดาวเรืองและศึกษาการรักษาความชื้นในดินปลูกและความทนทานต่อการขาดน้ำของดาวเรือง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมไฮโดรเจล Semi-IPN NR/St

เตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (% w/w) ในน้ำ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังตราพระอาทิตย์ 5 ดวง จากบริษัทบักทรี อินเตอร์เทรด จำกัด (ประเทศไทย) ให้ความร้อนสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กวนจนสารละลายแป้งมันสำปะหลังกลายเป็นแป้งเจลลิตไนซ์ (เปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเป็นสารละลายใสและมีความหนืดสูง)

สำหรับน้ำยางธรรมชาติ ใช้น้ำยางชั้นจากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศ

ไทย) จำกัด มหาชน มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำยางชั้นปรับสภาพความเป็นกรด-ต่างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก BHD Laboratory ประเทศอังกฤษ และสารลดแรงตึงผิว Emulvin WA จาก LANXESS ประเทศเยอรมัน เพื่อป้องกันการเสียเสถียรภาพของน้ำยาง) เติม MBA 1 ส่วนในยาง 100 ส่วน (Part per hundred of rubber; phr) และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate; $K_2S_2O_8$) จาก Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา 1 phr เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา หลังจากนั้น น้ำน้ำยางธรรมชาติที่เตรียมได้ผสมกับ สารละลายแป้งมันสำปะหลังเจลาติไนซ์ (แปรอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติต่อแป้งมันสำปะหลัง ที่ 10/90 ถึง 90/10 ของปริมาณเนื้อสาร) กวนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำปฏิกิริยาการเชื่อมขวางสายโซ่ยางธรรมชาติที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้เป็นไฮโดรเจลเชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่าย (Semi-interpenetrating polymer network; Semi-IPN) ของยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) และแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch; St) (Semi-IPN NR/St) แล้วเท Semi-IPN NR/St ลงแม่พิมพ์กระจกและอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จน Semi-IPN NR/St แห้งและน้ำหนักคงที่ จะได้แผ่น Semi-IPN NR/St ที่พร้อมจะนำไปเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบสมบัติต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถเตรียมแผ่นไฮโดรเจล Semi-IPN NR/St ที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแผ่น Semi-IPN NR/St ที่ได้เปราะแตกง่าย ไม่สามารถนำไปทดสอบต่อได้

2. ศึกษาสมบัติของ Semi-IPN NR/St

2.1. การหาเปอร์เซ็นต์ส่วนของเจล (Gel fraction) และส่วนที่ละลายได้ (Soluble fraction) ในน้ำ โดยการละลาย Semi-IPN NR/St ในน้ำ 3 ชั่วโมง กวนที่ 200 รอบ/นาที [4] คำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Sol (\%)} + \text{Gel (\%)} = 100 \quad (1)$$

เมื่อ Sol คือ ส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลาย

Gel คือ ส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย

2.2. สันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) รุ่น JSM-5410 LV บริษัท Jeol ประเทศญี่ปุ่น

2.3. ศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St ประยุกต์จากงานวิจัย Keles และคณะ [12] โดยเตรียมชิ้นตัวอย่าง Semi-IPN NR/St ขนาด 1 x 1 เซนติเมตรหนา 0.5 มิลลิเมตร แขนในน้ำกลั่น 720 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% Water absorption)

$$= 100 \times (W_2 - W_1)/W_1 \quad (2)$$

เมื่อ W_1 และ W_2 เป็นน้ำหนักของ Semi-IPN NR/St ขณะแห้งและเปียก ตามลำดับ

2.4. ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน ประยุกต์จากงานวิจัยของ Riyajan S. และคณะ [13] โดยนำตัวอย่าง Semi-IPN NR/St ขนาด 2 x 2 เซนติเมตรหนา 0.5 มิลลิเมตร ผึ่งในดินลึก 7 เซนติเมตร รดน้ำลงในดินที่ผึ่งตัวอย่าง Semi-IPN NR/St ทุกๆ สัปดาห์ตลอด 3 เดือน ในแต่ละเดือนนำตัวอย่าง Semi-IPN NR/St มาล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง แล้วนำไปอบให้แห้งที่ 45 องศาเซลเซียส

2.5. ศึกษาการใช้ Semi-IPN NR/St เป็นวัสดุอุ้มน้ำในดินสำหรับการปลูกต้นดาวเรือง โดยนำ Semi-IPN NR/St ขนาด 0.5 x 0.5 เซนติเมตรหนา 0.5 มิลลิเมตร ผสมในดินปลูกด้วยอัตราส่วน 6:1 (ดิน : Semi-IPN NR/St) คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำดินที่ผสม Semi-IPN NR/St แล้ว มาปลูกต้นดาวเรืองอายุ 1 เดือน ให้น้ำวันละ 2 ครั้งเช้า-เย็นแก่ต้นดาวเรืองตามปกติจนถึง 14 วัน หลังจากนั้นจึงงดการให้น้ำสังเกตลักษณะของต้นดาวเรือง และชั่งน้ำหนักรวมของถุงปลูกที่มีต้นดาวเรืองเป็นเวลา 37 วัน

ผลการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะยางธรรมชาติเชื่อมขวาง

จากการวิเคราะห์ หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติเชื่อมขวาง (ที่ไม่มีการเติม St) ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy; IR) ด้วยเครื่อง Spectrometer รุ่น Perkin Elmer 1760X บริษัท Perkin-Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติเชื่อมขวาง ทดสอบในช่วงคลื่น $4000 - 700 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมจากการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 2 พบตำแหน่งการสั่นของพันธะคู่ (C=C) ในสายโซ่หลักของโมเลกุลยางธรรมชาติที่ 836 cm^{-1} ทั้งในส่วนของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติเชื่อมขวาง แต่ปรากฏตำแหน่งความถี่ในการยืด (Stretching frequency) ที่ $3200 - 3600 \text{ cm}^{-1}$ ของ N-H และ 1668 cm^{-1} ของ C=O เฉพาะในยางธรรมชาติเชื่อมขวางเท่านั้น ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของอะคริลามิด์ (Acrylamide) [14] ใน MBA ที่ช่วยยับยั้งการเกิดการเชื่อมขวางของยางธรรมชาติด้วย MBA

นอกจากนี้ ค่าความหนาแน่นการเชื่อมขวาง (Crosslink density) ของยางธรรมชาติเชื่อมขวาง ใช้วิธีทดสอบที่ประยุกต์จากงานวิจัยของ Saijun, D. และคณะ [15] โดยการแช่ตัวอย่างยางธรรมชาติเชื่อมขวางในโทลูอีนและเก็บไว้ในที่มืด 7 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และคำนวณความหนาแน่นการเชื่อมขวางด้วยสมการ Flory-Rehner Equation ดังนี้

$$\rho_c = -\frac{1}{2V_s} \frac{\ln(1-V_r^o) + V_r^o + \chi(V_r^o)^2}{\sqrt[3]{V_r^o} - \frac{V_r^o}{2}} \quad (3)$$

เมื่อ ρ_c คือ ความหนาแน่นของพันธะการเชื่อมขวาง (mol/m^3) V_s คือ ปริมาตรโมลาร์ของโทลูอีน (1.069×10^{-4}) m^3/mol ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส V_r^o คือ ค่าสัดส่วนของยางที่บวมพองอยู่ในยางธรรมชาติเชื่อมขวาง และ χ คือ ค่าพารามิเตอร์ของอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารละลาย (0.39) รวมทั้ง การหาเปอร์เซ็นต์ส่วนของเจลและส่วนที่ละลายได้ในโทลูอีนของยางธรรมชาติเชื่อมขวางและคำนวณด้วยสมการที่ (1) พบว่า ยางธรรมชาติเชื่อมขวางมีความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง 0.82 ± 0.01

mol/m^3 ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์ส่วนของเจลและส่วนที่ละลายได้ในโทลูอีนของยางธรรมชาติเชื่อมขวาง คือ 20.9 ± 0.2 และ 79.1 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สนับสนุนผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติเชื่อมขวางได้เป็นอย่างดีว่าสามารถเตรียมยางธรรมชาติเชื่อมขวางได้จากการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางด้วย MBA และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา

2. ผลของอัตราส่วนระหว่างยางและแป้งต่อเปอร์เซ็นต์ส่วนของเจลและส่วนที่ละลายได้ของ Semi-IPN NR/St ในน้ำ

รูปที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์ส่วนของเจลและส่วนที่ละลายได้ในน้ำของ Semi-IPN NR/St ที่แปรอัตราส่วน NR/St พบว่า เมื่ออัตราส่วนของ St ลดลง เปอร์เซ็นต์ส่วนของเจลมีแนวโน้มสูงขึ้นและเปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ในน้ำลดลง โดยอัตราส่วน NR/St ที่ 90/10 มีเปอร์เซ็นต์ ส่วนของเจลสูงสุดที่ 95.70 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ในน้ำที่อัตราส่วน NR/St เดียวกัน มีค่าต่ำสุด คือ 4.29 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากส่วนที่หลุดออกมาและละลายในน้ำจะแสดงออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ในน้ำ คือ ส่วนของไฮโดรเจลที่ไม่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางโมเลกุล ไม่ได้เกิดการแทรกสอดและล็อกจากการเชื่อมขวาง ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์ส่วนของเจล คือ ส่วนที่เกิดการเชื่อมขวางและไม่ละลายน้ำ [4] ซึ่งในการเตรียมไฮโดรเจลเชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่ายของยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง มีเพียงยางธรรมชาติเท่านั้นที่ผ่านการเชื่อมขวาง ดังนั้น โมเลกุล St ในโครงสร้าง Semi-IPN NR/St จึงเป็นส่วนที่สามารถละลายน้ำออกมาจากโครงสร้าง Semi-IPN NR/St และถ้าหาก Semi-IPN NR/St มีอัตราส่วน St สูงขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้น

3. ผลของอัตราส่วนระหว่างยางและแป้งต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St

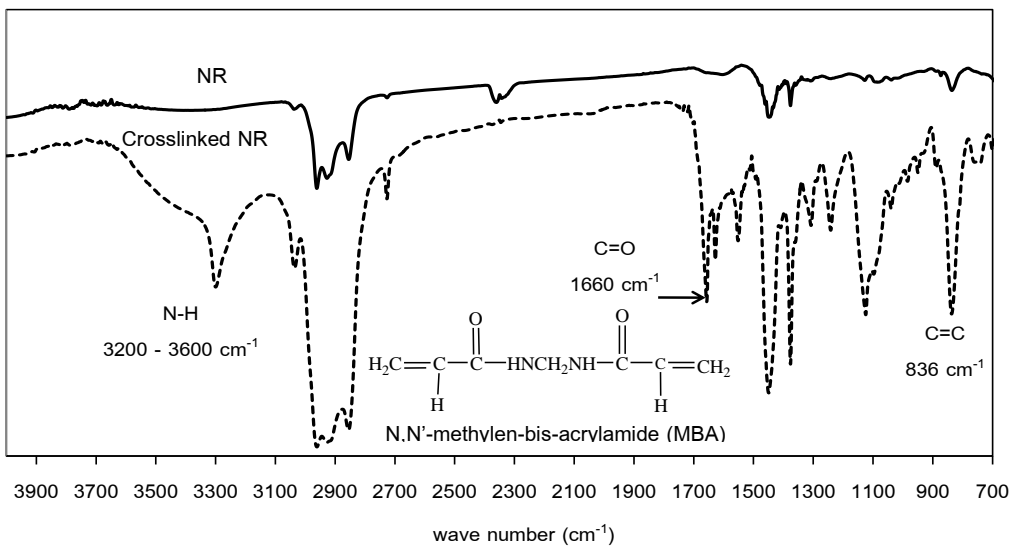
รูปที่ 4 (ก) และ (ข) แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St ที่แปรอัตราส่วน NR/St พบว่า เมื่ออัตราส่วนของ St เพิ่มขึ้น ส่งผลให้

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St เพิ่มขึ้น และที่เวลาการทดสอบ 24 ชั่วโมง (รูปที่ 4 (ก)) อัตราส่วน NR/St ที่ 90/10 Semi-IPN NR/St มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 33.58 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน NR/St ที่ 30/70 มีการดูดซึมน้ำสูงสุด ประมาณ 140 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก Semi-IPN NR/St ที่อัตราส่วนดังกล่าว มี St ปริมาณสูง และโมเลกุล St ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxylgroups) จำนวนมาก ที่มีคุณสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilicity) [13]

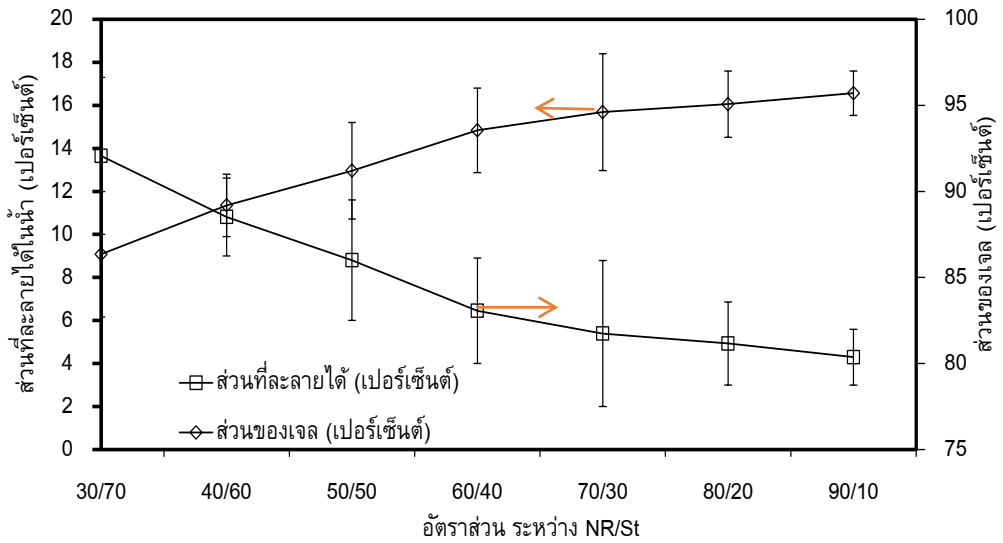
โดยสมบัติความชอบน้ำของพอลิเมอร์ที่จะนำมาเตรียมเป็นไฮโดรเจลถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เช่นเดียวกับ Khongtong s. และคณะ [16] ได้รายงานว่าการปรับปรุงยางธรรมชาติที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ให้มีสมบัติความชอบน้ำสูงขึ้น โดยยางธรรมชาติสามารถดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของหมู่ฟังก์ชันที่มีสมบัติความชอบน้ำในยางธรรมชาติ นอกจากนี้ Wayakron Phetphaisit C. และคณะ [17] อธิบายเหตุผลของการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติหลังการเพิ่มสมบัติ

ความชอบน้ำ ด้วยการเติมหมู่ฟังก์ชันเข้าไปปรับปรุงนั้น ทำให้เกิดแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ที่มีผลต่อการเกิดกลไกการดูดซึมน้ำเข้าสู่ภายในยางธรรมชาติที่ปรับปรุง ดังนั้น Semi-IPN NR/St ที่อัตราส่วนของ St สูงๆ หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล St จะช่วยเพิ่มแรงดันออสโมติกภายใน Semi-IPN NR/St และทำให้ Semi-IPN NR/St ดูดซึมน้ำได้มากตามไปด้วย

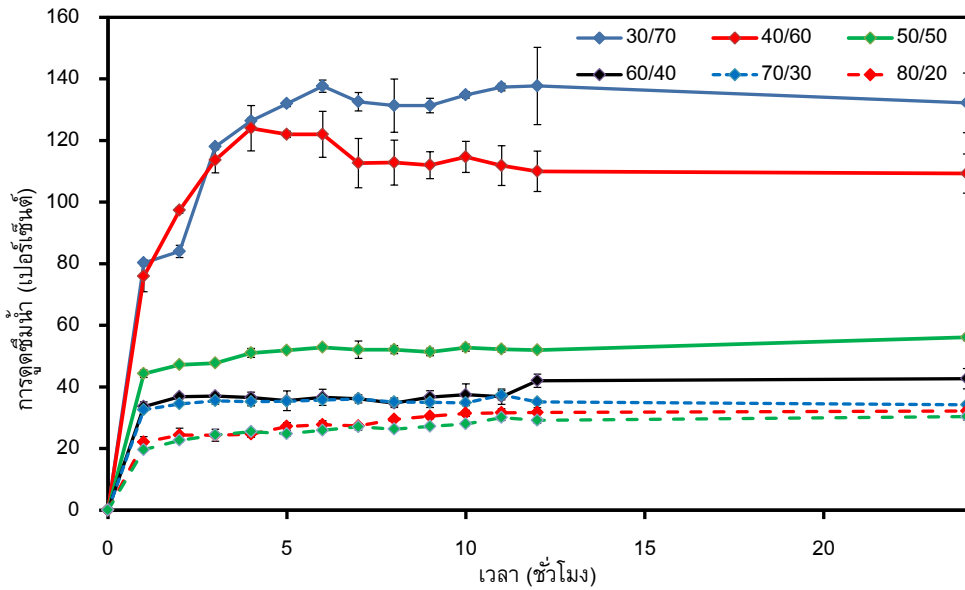
แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อแช่ Semi-IPN NR/St ในน้ำนานกว่า 24 ชั่วโมง (รูปที่ 4 (ข)) พบว่า Semi-IPN NR/St อัตราส่วน St มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St จะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่แช่ในน้ำกลั่นนานขึ้น สาเหตุมาจากการละลายน้ำออกมาของโมเลกุล St จากโครงสร้างของ Semi-IPN NR/St เนื่องจากโมเลกุล St ที่ไม่ผ่านการเชื่อมขวาง ทำให้โมเลกุลบางส่วนที่ไม่ผ่านการลีดจากการแทรกสอดของโครงร่างตาข่ายในระหว่างการเชื่อมขวางสายโซ่ยางธรรมชาติหลุดออกมา ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง



รูปที่ 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติ (NR) และยางธรรมชาติเชื่อมขวาง (Cross-linked NR)

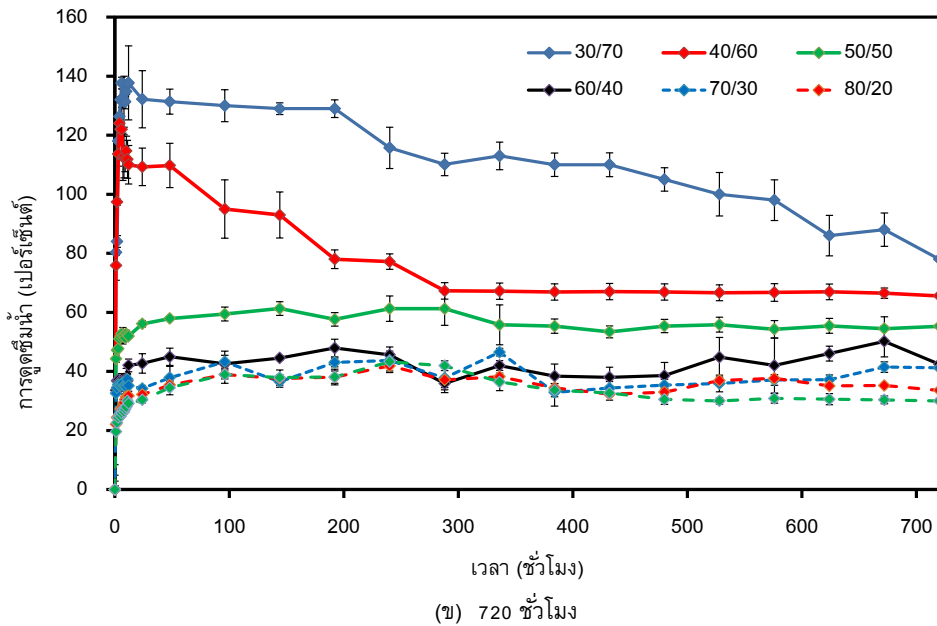


รูปที่ 3 สัดส่วนของเจลและสัดส่วนที่ละลายได้ในน้ำของ Semi-IPN NR/St อัตราส่วน NR/St ที่ระดับต่างๆ



(ก) 24 ชั่วโมง

รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St ที่แปรอัตราส่วน NR/St ที่เวลา (ก) 24 และ (ข) 720 ชั่วโมง

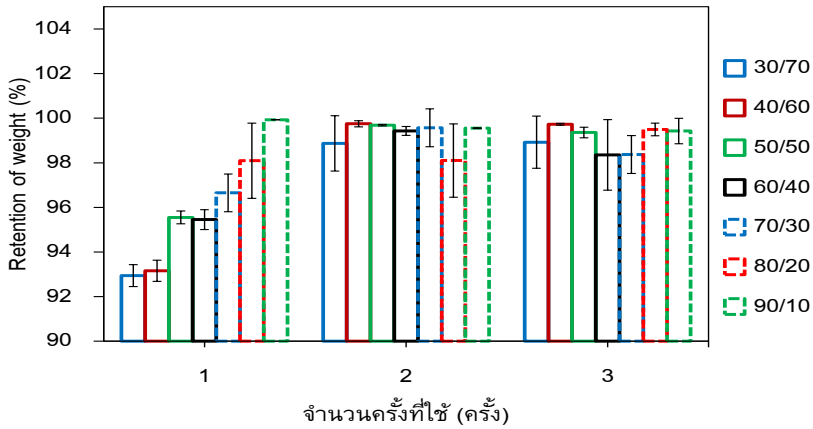


รูปที่ 4 (ต่อ)การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St ที่แปรอัตราส่วน NR/St ที่เวลา (ก) 24 และ (ข) 720 ชั่วโมง

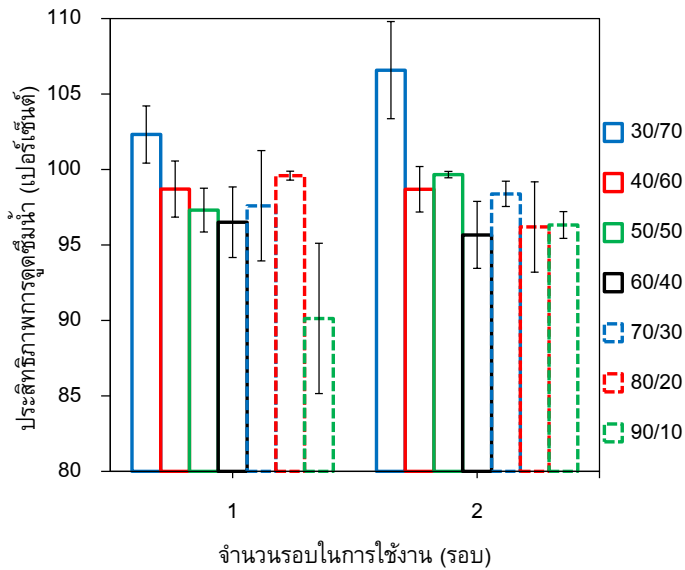
4. ผลของอัตราส่วนยางและแป้งต่อเสถียรภาพในการใช้งานของ Semi-IPN NR/St

การศึกษาเสถียรภาพในการใช้งานของ Semi-IPN NR/St โดยใช้น้ำหนักที่เหลืออยู่ของ Semi-IPN NR/St ที่ผ่านการแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมงและรายงานเป็น Retention of weight ของ Semi-IPN NR/St ในรูปที่ 5 แสดงเสถียรภาพในการใช้งานของ Semi-IPN NR/St โดยแปรอัตราส่วน NR/St พบว่า อัตราส่วน NR/St ที่ 80/20 และ 90/10 Semi-IPN NR/St มีเสถียรภาพในการใช้งานค่อนข้างคงที่ เนื่องจากอัตราส่วนของ St ใน Semi-IPN NR/St น้อย ในขณะที่อัตราส่วน NR/St ที่ 40/60 และ 30/70 Semi-IPN NR/St มีเสถียรภาพในการใช้งานน้อยมากหลังผ่านการใช้งานครั้งที่ 1 แต่มี Retention of weight ของ Semi-IPN NR/St เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อผ่านการใช้งานในครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากในอัตราส่วน NR/St ที่ 40/60 และ 30/70 มีอัตราส่วน

ของ St มากกว่า NR ทำให้หลังผ่านการใช้งานครั้งแรกมีส่วนของ St ใน Semi-IPN NR/St หลุดออกมากกว่า จึงมีความเสถียรในการใช้งานน้อยกว่า NR/St ที่ 80/20 และ 90/10 ซึ่งสอดคล้องกับผลของเปอร์เซ็นต์ส่วนที่ละลายในน้ำของ semi-IPN NR/St ซึ่งปัญหาการละลายน้ำของโมเลกุล St ออกมาจากโครงสร้าง Semi-IPN NR/St เพราะโมเลกุล St ไม่ได้ผ่านการเชื่อมขวาง เพียงแต่แทรกสอดและล๊อคโมเลกุลไว้ภายในโครงสร้างของ Semi-IPN NR/St จากผลของการเชื่อมขวางของโมเลกุลยางธรรมชาติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม หลังจากนั้นเสถียรภาพในการใช้งานของ Semi-IPN NR/St ที่มีอัตราส่วน St สูงๆ จะจึงเริ่มคงที่หลังผ่านการใช้งานครั้งที่ 2 และ 3 เป็นผลมาจากการเชื่อมขวางโมเลกุลยางธรรมชาติและการแทรกสอดของยางธรรมชาติและโมเลกุลแป้งช่วยล๊อคให้โมเลกุล St เหลืออยู่ในโครงสร้าง Semi-IPN NR/St



รูปที่ 5 เสถียรภาพในการใช้งานของ Semi-IPN NR/St อัตราส่วน NR/St ที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St อัตราส่วน NR/St ที่ระดับต่างๆ

5. ผลของอัตราส่วนระหว่างยางและแป้งต่อประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St หลังการใช้งานซ้ำ

รูปที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St ที่แปรอัตราส่วน NR/St เมื่อทดสอบการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำในการใช้งานรอบที่ 1 (ผ่านการแช่น้ำกลับ 2 ครั้ง) ของ Semi-IPN NR/St ลดลงตามอัตราส่วนของ St ใน

Semi-IPN NR/St ที่ลดลง เป็นผลมาจากการละลายน้ำของโมเลกุล St ในกรณีของ Semi-IPN NR/St อัตราส่วน NR/St ที่ 90/10 ถึงแม้ว่า จะมีโมเลกุลของ St ละลายน้ำออกมาเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 5 Retention of weight ของ Semi-IPN NR/St อัตราส่วน NR/St ที่ 90/10 ลดลงเพียงเล็กน้อย) กลับมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St เป็นอย่างมาก และอีกปัจจัยที่สำคัญ คือ เมื่ออัตราส่วนของยางธรรมชาติ

สูงขึ้น ความหนาแน่นของการเชื่อมขวางที่แทรกสอด และลึกลับโมเลกุล St ไม้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลให้การดูดซึมน้ำของ Semi-IPN NR/St ลดลง เนื่องจากความหนาแน่นของการเชื่อมขวางในไฮโดรเจลจะทำให้ความสามารถในการขยายตัวของไฮโดรเจลเพื่อกักเก็บน้ำเกิดได้ยากขึ้น [18]

หลังการใช้งานของ Semi-IPN NR/St รอบที่ 2 (ผ่านการแช่น้ำกลั่น 3 ครั้ง) Semi-IPN NR/St อัตราส่วน NR/St ที่มากกว่า 30/70 จะมีประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำเริ่มคงที่ ในขณะที่ อัตราส่วน NR/St ที่ 30/70 มีประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจาก Semi-IPN NR/St ที่อัตราส่วนดังกล่าวมีความหนาแน่นของการเชื่อมขวางที่เหมาะสม กล่าวคือ ไฮโดรเจลที่ดีควรมีความหนาแน่นการเชื่อมขวางเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ไฮโดรเจลสามารถรักษารูปร่าง ขยายขนาดและกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้างไฮโดรเจลได้มากขึ้น [19] นอกจากนี้ ผลจากการละลายน้ำและหลุดออกของโมเลกุล St บางส่วนจากการใช้งานรอบที่ 1 (ผ่านการแช่น้ำกลั่น 2 ครั้ง) ทำให้เกิดช่องทางการดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้าง Semi-IPN NR/St ได้ง่ายขึ้น

6. การใช้ Semi-IPN NR/St ในการปลูกดาวเรือง

ในงานวิจัยนี้เลือกสูตรในการเตรียม Semi-IPN NR/St ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกดาวเรือง คือ ใช้ อัตราส่วน NR/St ที่ 30/70 โดยสมบัติของ Semi-IPN NR/St ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1 ในการทดสอบการอุ้มน้ำของดินปลูก ความทนทานต่อการขาดน้ำของต้นดาวเรือง และการย่อยสลายในดินของ Semi-IPN NR/St ผลการทดสอบแสดงดังต่อไปนี้

6.1 การอุ้มน้ำของดินเมื่อใช้ Semi-IPN NR/St ผสมในดินปลูกดาวเรือง

รูปที่ 7 แสดง Retention of weight ของดินปลูกที่มีดินผสม Semi-IPN NR/St สำหรับปลูกดาวเรืองที่ไม่รดน้ำ 37 วัน พบว่า Retention of weight ของดินปลูกที่มีดินผสมและไม่ผสม (Control) Semi-IPN NR/St สำหรับปลูกดาวเรืองลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาทดสอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำที่อยู่ในดินถูกนำไปใช้โดย

ต้นดาวเรืองและมีการระเหยออกจากดินสู่บรรยากาศ แต่เมื่อเปรียบเทียบ Retention of weight ของดินปลูกที่มีดินผสม Semi-IPN NR/St กับดินที่ไม่ผสม Semi-IPN NR/St (Control) พบว่า ดินปลูกที่มีดินผสม Semi-IPN NR/St มีค่า Retention of weight ของดินปลูกที่มีดินผสม Semi-IPN NR/St สูงกว่า Control เนื่องจาก Semi-IPN NR/St ที่ผสมในดินสามารถดูดซึมน้ำไว้ได้ และ Wang Y. และคณะ [10] ได้รายงานว่าการใช้งานไฮโดรเจลผสมกับดินปลูกดาวเรือง ไฮโดรเจลสามารถกักเก็บความชื้นเอาไว้ภายในโครงสร้างได้นานและทำให้ดินมีความชุ่มชื้น ส่งผลให้ดาวเรืองสามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดจากการขาดน้ำได้ ถึงแม้ว่าความชื้นจากภายนอกที่ดินได้รับจะน้อยมากก็ตาม

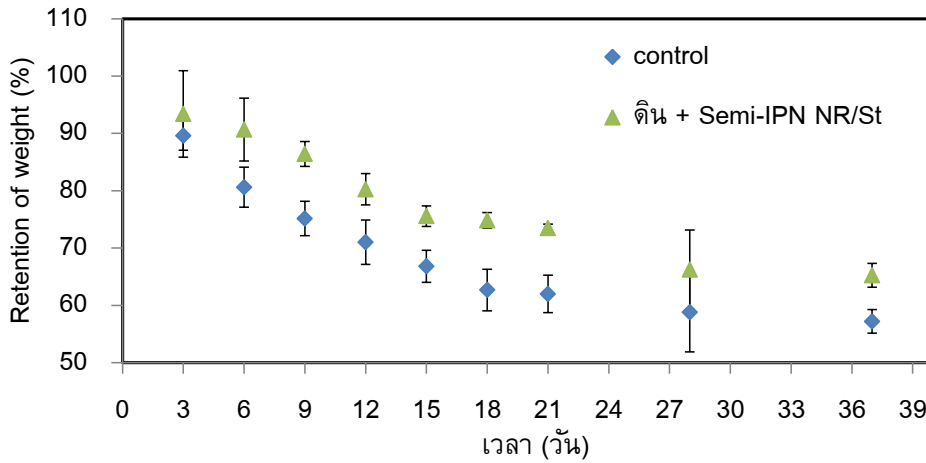
6.2 ความทนทานต่อการขาดน้ำของดาวเรืองที่ปลูกด้วยดินผสม Semi-IPN NR/St

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของต้นดาวเรืองในสภาวะขาดน้ำที่ใช้ดินปลูกผสมด้วย Semi-IPN NR/St และ Control เวลาในการทดสอบ 37 วัน พบว่า ในวันที่ 9 ของการทดลอง ต้นดาวเรืองที่ปลูกด้วยดิน Control เริ่มเหี่ยวแห้ง ในขณะที่ ต้นดาวเรืองที่ปลูกด้วยดินผสม Semi-IPN NR/St ยังคงสดชื่น และเมื่อปล่อยให้ต้นดาวเรืองที่ปลูกด้วยดิน Control และดินที่ผสม Semi-IPN NR/St ขาดน้ำนานขึ้นจนถึงวันที่ 12 ต้นดาวเรืองที่ปลูกด้วยดิน Control ได้ตายลง ในขณะที่ต้นดาวเรืองที่ปลูกด้วยดินผสม Semi-IPN NR/St เริ่มเหี่ยวแห้ง และตายในวันที่ 21 ของการทดสอบ เนื่องมาจากการอุ้มน้ำในดินของ Semi-IPN NR/St ทำให้ดินยังคงรักษาความชุ่มชื้นไว้ในดินได้ดีกว่าดินที่ไม่มีการผสม Semi-IPN NR/St (Control) ซึ่งสอดคล้องกับ Retention of weight ของดินปลูกที่มีดินผสม Semi-IPN NR/St ที่ไม่ลดน้ำ 37 วัน ซึ่งน้ำหนักของดินจะลดลงเรื่อยๆ นอกจากนี้ ไฮโดรเจลที่ใช้ในการปลูกพืชยังช่วยลดชั้นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้และช่วยป้องกันรากของพืชจากอาการรากแห้งเนื่องจากการขาดน้ำได้ รวมทั้งทำให้รากพืชสามารถหยั่งรากได้ลึกและยาวมากขึ้นด้วย [20] ซึ่งจากเหตุดังกล่าวข้างต้น ทำให้การใช้ Semi-IPN NR/St ผสมดินในการปลูกดาวเรืองช่วยยืดระยะเวลาในการรดน้ำและป้องกันสภาวะการขาดน้ำของดาวเรืองได้

ตารางที่ 1 สมบัติ Semi-IPN NR/St ที่ใช้ในการทดสอบปลุกดาวเรือง







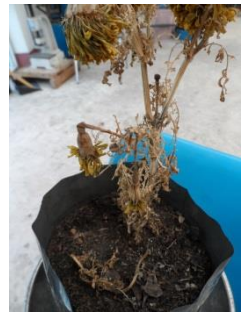
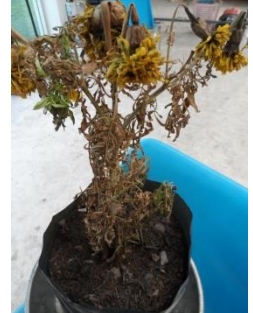
สมบัติ	(เปอร์เซ็นต์)	เวลาดทดสอบ (ชั่วโมง)
การดูดซึมน้ำ (Water absorption)	137.72	12
การระเหยของน้ำ (Water evaporation)*	100.00	7
ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำในการใช้งานรอบที่ 1	102.31	24
ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำในการใช้งานรอบที่ 2	106.59	24

*ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 7 Retention of weight ของถุงปลูกที่มีดินผสม Semi-IPN NR/St และไม่ผสม Semi-IPN NR/St (Control) สำหรับปลุกดาวเรืองที่ไม่รดน้ำ 37 วัน

ตารางที่ 2 ลักษณะของต้นดาวเรืองในสภาวะขาดน้ำที่ใช้ดินปลูกที่ผสม Semi-IPN NR/St และไม่ผสม Semi-IPN NR/St (Control) เป็นเวลา 37 วัน

วันที่	ดินไม่ผสม Semi-IPN NR/St (Control)	ดินผสม Semi-IPN NR/St
6		
9		
12		
21		

6.3 การย่อยสลายในดินของ Semi-IPN

NR/St

ตารางที่ 3 และรูปที่ 8 แสดง Retention of weight และลักษณะของ Semi-IPN NR/St ที่ฝังดิน 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ เพื่อศึกษาการย่อยสลายของ Semi-IPN NR/St ในดินที่ใช้ปลูก พบว่า Semi-IPN NR/St เกิดการย่อยสลายมากขึ้น เมื่อเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำหนักที่หายไปเกิดจากส่วนที่เป็น St ที่เป็นองค์ประกอบใน Semi-IPN NR/St

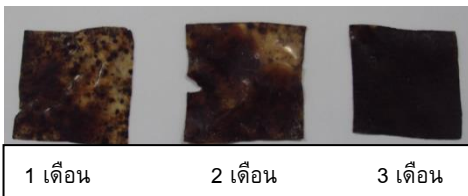
นอกจากนี้ สัตว์ฐานวิทยาของ Semi-IPN NR/St หลังจากฝังในดิน 1, 2 และ 3 เดือน (แสดงในรูปที่ 9) พบโพรงในเมทริกซ์ของ NR ซึ่งโพรงเหล่านี้เป็นเม็ดแป้งที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของ NR [21] ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อระยะเวลาในการฝัง Semi-IPN NR/St ในดินนานขึ้น พบการย่อยสลายของ St มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งยืนยันได้ว่า St สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้ไม่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3 Retention of weight ของ Semi-IPN NR/St ที่ฝังดิน 1, 2 และ 3 เดือน

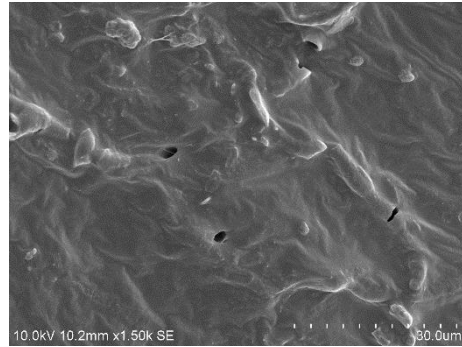
เวลาในการทดสอบ (เดือน)	Retention of weight (%)
1	48.14 ± 2.60
2	47.27 ± 1.16
3	43.40 ± 0.01



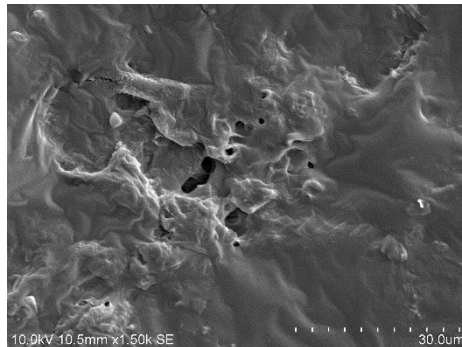
แผ่น Semi-IPN NR/St ก่อนฝังดิน



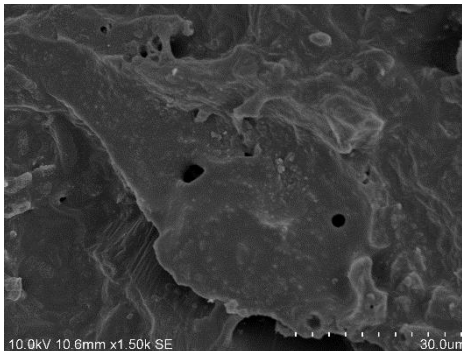
รูปที่ 8 ลักษณะของ Semi-IPN NR/St ที่ผ่านการฝังดิน 1, 2 และ 3 เดือน



1 เดือน



2 เดือน



3 เดือน

รูปที่ 9 สัตว์ฐานวิทยาของ Semi-IPN NR/St ที่ผ่านการฝังดิน 1, 2 และ 3 เดือน

สรุปและเสนอแนะ

จากการทดลอง พบว่าอัตราส่วนระหว่างยางต่อแป้งมีผลต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลเชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่ายของยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลัง โดยอัตราส่วนของแป้งที่เพิ่มขึ้นจะส่งผล

ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงขึ้น นอกจากนี้ การนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้เป็นวัตถุเติมในการเตรียมวัสดุอุ้มน้ำในดินสำหรับปลูกดาวเรือง ช่วยให้ดินสามารถรักษาความชื้นในดินไว้ได้ รวมทั้งวัสดุอุ้มน้ำที่เตรียมจาก Semi-IPN NR/St ยังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากทุนนักวิจัยหน้าใหม่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในโครงการวิจัยเรื่อง “การเตรียมไฮโดรเจลจากยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลังสำหรับปลูกพืชประจำปีงบประมาณ 2555” และขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Gerlach G. and Arndt K.F. 2009. Hydrogel sensors and actuators. **Engineering and Technology**. London: Springer.

[2] สายชล สุขสมวัฒน์. 2533. การเตรียมกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ดูดน้ำได้ดีโดยใช้แป้งชนิดต่างๆ กับอะครีโลไนไตรล์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] Koba Y. M., Toguchida J. and Oka, M. 2003. “Preliminary study of polyvinyl alcohol/hydrogel (PVA/H) artificial meniscus”. **Biomaterials**. 24: 639-647.

[4] Zohuriaan-Mehr M. J and Kabiri K. 2008. “Superabsorbent polymer materials: A Review”. **Iranian Polymer Journal**. 17(6): 451-477.

[5] Fares M. M, Al-Ta' and B. 2003. “Graft copolymerization onto chitosan: I. Grafting of ethylmethacrylate using ceric ammonium nitrate as an initiator”. **Acta Chimica Slovenica**. 50: 275-285

[6] Karavas E., Georganakis E. and Bikiaris D. 2006. “Adjusting drug release by using miscible polymer blends as effective drug carries”. **Journal of Thermal Analysis Calorimetry**. 84: 125-133.

[7] Pawelchak J. M. and Freeman F. M. 1988. **Method of treating wounds with granules and dressing**, Patent ID: US 4728642. USA, March.

[8] Qudsieh I., Hakhrul-Razi A., Muyibi S., Ahmad M., Rahman M. and Yunus W. 2004. “Preparation and characterization of poly (methyl methacrylate) grafted sago starch using potassium persulfate as redox initiator”. **Journal of Applied Polymer Science**. 94: 1891-1895.

[9] จุฑามาศ อ่อนพิมล. 2537. “ไม้ตัดดอก”. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 1.

[10] Wang Y. and Boogher C. A. 1987. “Effect of a medium-incorporated hydrogel on plant growth and water use of two foliage species”. **Journal of Environmental Horticulture**. 5(3): 127-130.

[11] Razali M. A. A., Ismail H. and Ariffin A. 2015. Graft copolymerization of poly DADMAC to cassava starch: Evaluation of process variables via central composite design. **Industrial Crops and Products**. 65: 535-545.

[12] Keles H., Celik M., Sacak M. and Aksu L. 1999. “Graft copolymerization of methyl methacrylate upon gelatin initiated by benzoyl peroxide in aqueous medium”. **Journal of Applied Polymer Science**. 74: 1547-1556.

- [13] Riyajan S., Sasithornsonti Y. and Phinyocheep P. 2012. "Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release". **Carbohydrate Polymers**. 89: 251-258.
- [14] Fan Y., Zhang M. and Feng M. Y. Q. 2005. "Poly (acrylamide-vinylpyridine-N,N'-methylene bisacrylamide) monolithic capillary for in-tube solid-phase microextraction coupled to high performance liquid chromatography". **Journal of Chromatography A**. 1099: 84-91.
- [15] Saijun D., Nakason C., Kaesaman A. and Klinpituksa P. 2009. "Water absorption and mechanical properties of water-swallowable natural rubber". **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 31(5): 561-565.
- [16] Khongtong S. and Fungchonlajit N. 2008. "Water swollen natural rubber". **Walailak Journal of Science and Technology**. 5: 57-75.
- [17] Wayakron Phetphaisit C., Yuanyang S. and Chuachud Chaiyasith W. 2016. "Polyacrylamido-2 -methyl-1 -propane sulfonic acid-grafted-natural rubber as bio-adsorbent for heavy metal removal from aqueous standard solution and industrial wastewater". **Journal of Hazardous Materials**. 301: 163-171.