

การเตรียมและวิเคราะห์คุณสมบัติของไฮโดรเจลที่เตรียมจาก แป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เพ็ญฤทัย บุญประสิทธิ์*, ธนพงษ์ เชื้อฉุน,
ณัฐวุฒิ รัตนธรรมวัฒน์, ปวีณา จันทร์สีทอง

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author email: b.piangruetai@gmail.com

ได้รับบทความ: 15 พฤศจิกายน 2564

ได้รับบทความแก้ไข: 24 กุมภาพันธ์ 2565

ยอมรับตีพิมพ์: 26 กุมภาพันธ์ 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ไฮโดรเจลแป้งมันสำปะหลังผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับน้ำทางการเกษตร โดยใช้มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, MA) เป็นสารเชื่อมขวาง โดยศึกษาอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำที่ 30:70 และ 20:80 ปริมาณ MA และปริมาณ PVA ต่อการดูดซับน้ำ และการย่อยสลายในดิน จากผลการทดลองพบว่า พบว่า การดูดซับน้ำของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยไฮโดรเจลที่มีแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 30:70 และ 20:80 มีร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมงเท่ากับร้อยละ 105 และ 71 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามร้อยละการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ MA และ PVA ในขณะที่อัตราการย่อยสลายในดินของไฮโดรเจลลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PVA ที่ระยะเวลา 28 วัน ดังนั้นสามารถนำไฮโดรเจลไปใช้ปรับปรุงการดูดซับน้ำของดินได้

คำสำคัญ: ไฮโดรเจล / แป้งมันสำปะหลัง / พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Preparation and Characterization of Hydrogel Produced from Cassava Starch and Polyvinyl Alcohol

Piangruetai Boonprasith*, Thanapong Chuachun,
Natthawoot Rattanathamwat, Paweena Chunseethong

Industrials Chemistry Program, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding author email: b.piangruetai@gmail.com

Received: 15 November 2021

Revised: 24 February 2022

Accepted: 26 February 2022

Abstract

This research studied the synthesis of cassava starch and polyvinyl alcohol (PVA) hydrogel to develop water absorbent material in agricultural application by using maleic anhydride (MA) as a crosslinking agent. The effects of cassava starch to water ratios at 30:70 and 20:80, MA and PVA content toward water absorption and biodegradation in soil were investigated. The results showed that the water absorption of hydrogel increased with increasing amount of cassava starch due to the formation of hydrogen bonds between hydroxyl group of cassava starch and water. Hydrogels containing the ratio of cassava starch to water at 30:70 and 20:80 resulted in the highest percentage of the water absorption at 24 hours with 105% and 71%, respectively. However, the percentage of the water absorption decreased with increasing MA and PVA content. Meanwhile, the biodegradation rate decreased with increasing amount of PVA for 28 days. Therefore hydrogel could be used to improve water absorption in soil.

Keywords: Hydrogel / Cassava starch / Polyvinyl alcohol

บทนำ

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายที่มีสมบัติในการกักเก็บน้ำไว้ในตัวเองได้ในปริมาณมากถึง 600 เท่า โครงสร้างภายในมีรูพรุน ไฮโดรเจลเมื่อดูดซึมน้ำไว้แล้วจะไม่ละลายน้ำ แต่จะบวมพองตัว สามารถคงรูปร่างเดิมไว้ จากสมบัติดังกล่าวจึงนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม ใช้ในการเคลือบปุ๋ย รักษาความชุ่มชื้นในดิน แปลงเกษตรที่ตั้งอยู่ในพื้นที่แห้งแล้ง หรือช่วยลดความถี่ในการรดน้ำให้กับการปลูกพืชได้ [1] ด้านการแพทย์ใช้เป็นตัวยาพาตัวยาสำคัญไปออกฤทธิ์ในร่างกาย (Drug deliver) สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาให้เกิดขึ้นเฉพาะที่อวัยวะเป้าหมายได้ โดยอาศัยสภาวะที่เหมาะสม [2]

พอลิเมอร์ที่สามารถเตรียมเป็นไฮโดรเจล ได้แก่ พอลิเมอร์จากปิโตรเคมี อาทิ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (Polyacrylic acid, PAA) และพอลิเมอร์จากสารธรรมชาติ เช่น แป้ง (Starch) อัลจิเนต (Alginate) เจลาติน (Jelatin) แป้งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีราคาถูก หาได้ง่ายและมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฮโดรเจล การนำแป้งมาสังเคราะห์ไฮโดรเจล พบว่ามีการศึกษาการใช้แป้งชนิดต่าง ๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง [3] แป้งมันฝรั่ง [4] แป้งข้าวเจ้า แป้งกล้วย [5] เป็นต้น การสังเคราะห์ไฮโดรเจลนั้นสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การฉายรังสีแกมมาหรือคลื่นไมโครเวฟผ่านพอลิเมอร์ให้สายโซ่เกิดการเชื่อมขวางกันเป็นโครงร่างตาข่าย [2] การนำแป้งมันสำปะหลังทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่อให้เกิดโคพอลิเมอร์ [5] และอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้ คือการเติมสารเชื่อมขวาง (Chemical crosslinking agent) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ โดยสารเชื่อมขวางที่นิยมใช้ได้แก่ สารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชัน คาร์บอกซิลิกหรือแอนไฮไดรด์ อยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของโมเลกุล ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการใช้สารเชื่อมขวาง อาทิเช่น การสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) กับซัคซินิคแอนไฮไดรด์ (Succinic anhydride) ทำให้ได้ไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่ 92 กรัม/กรัม [6] การสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์ (Borax) ให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่ 14 กรัม/กรัมที่เวลา 24 ชั่วโมง [7]

เนื่องจากแป้งมีองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่สามารถย่อยสลายได้ในดินจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังนั้นจึงต้องมีการยืดอายุของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งให้มีความย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น ทำได้โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีความเข้ากันได้ (Compatibility) กับแป้งได้แก่ PVA ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก สามารถละลายในน้ำได้ดี ขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ [8] และปรับปรุงความเข้ากันได้ของแป้ง

กับพอลิเมอร์ด้วยการเติมสารที่ทำให้แป้งมันสำปะหลังสามารถเกิดโครงสร้างเชื่อมขวางกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ผสมเพิ่มเติม เช่น การเติมสารกลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เพื่อให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างน้ำยางธรรมชาติ [1] หรือปรับปรุงด้วยการเติมสารมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, MA) เพื่อตัดแปรให้มีหมู่ทำหน้าที่มาเลอิกที่สามารถเข้ากันได้กับพอลิแลคติกแอซิดมากขึ้น [9]

อัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังและ PVA มีผลต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล พบว่าเมื่อสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นการบวมตัวในน้ำของไฮโดรเจลมากขึ้น แต่ขณะเดียวกันยังเพิ่มสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังทำให้เกิดการสูญเสียแป้งมันสำปะหลังไประหว่างการทดสอบการบวมตัวมากขึ้นด้วย เนื่องจากเฟสของแป้งมันสำปะหลังและ PVA มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน (Interaction) น้อยลง [10] เมื่อทำการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [11] โดยการเพิ่มสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น ไฮโดรเจลไม่สามารถคงรูปเป็นชิ้นงานและแตกออก จากความเปราะของแป้งมันสำปะหลัง มีเพียงชิ้นงานในอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ 30:70 และ 20:80 ที่สามารถขึ้นรูปเป็นไฮโดรเจลและคงตัวได้

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังที่เติม MA เป็นสารเชื่อมขวาง และเติม PVA เป็นพอลิเมอร์ผสมเพื่อยืดอายุการใช้งานไฮโดรเจลให้นานขึ้น โดยทำการศึกษาไฮโดรเจลที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเท่ากับ 30:70 และ 20:80 ศึกษาโครงสร้างทางเคมี สมบัติการดูดซึมน้ำ สันฐานวิทยา และสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน เพื่อเป็นแนวทางในการนำสารจากธรรมชาติของประเทศไทยที่มีอยู่มาก และราคาถูก มาผลิตเป็นวัสดุที่มีสมบัติการดูดซึมน้ำได้ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุคงความชุ่มชื้นในดิน วัสดุกักเก็บสารอาหารพืชและกักเก็บสารเคมีที่มีมูลค่าสูงขึ้น

วัสดุและวิธีการ

1. สารเคมี

แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ยี่ห้อปลาไทย 5 ดาว พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกรดปฏิบัติการ จากบริษัท Chem-supply ประเทศออสเตรเลีย มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ($C_4H_2O_3$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Sigma-aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulphate, KPS) ($K_2S_2O_8$) เกรดปฏิบัติการ จากบริษัท Ajax Finechem ประเทศนิวซีแลนด์ ดินปลูกต้นไม้ ยี่ห้อดินสีดำ

2. การสังเคราะห์และขึ้นรูปไฮโดรเจล

เตรียมส่วนผสมแป้งมันสำปะหลัง น้ำกลั่น PVA KPS และ MA ดังตารางที่ 1 ผสมแป้งและน้ำกลั่นให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กความเร็ว 50 รอบต่อนาทีจนสารละลายแป้งเปลี่ยนเป็นสารละลายหนืดใส จากนั้นเติม KPS และ MA

ผสมสารละลายให้เข้ากัน ให้ความร้อนจนครบ 2 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มผสมแบ่งและน้ำกลั่น จากนั้นเทสารละลายหนึ่งลงในแม่แบบซิลิโคน ขนาดเท่ากับ 4×7 เซนติเมตร ให้มีความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เก็บในถุงกันความชื้นและวางในโถดูดความชื้น

3. การศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจล

3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจล

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างไฮโดรเจลขนาด $1 \times 1 \times 1$ เซนติเมตร พิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีโดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR) โหมด ATR ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum one ที่ช่วงความยาวคลื่น $400 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของสารเคมีในการเตรียมไฮโดรเจล

สูตรไฮโดรเจล	แป้งมัน สำปะหลัง (%w/w)	น้ำกลั่น (%w/w)	KPS (%w/w)	MA (%w/w)	PVA (%w/w)
TPS30	30	70	0.9	-	-
TPS30M1	30	70	0.9	0.9	-
TPS30M3	30	70	0.9	2.9	-
TPS30M5	30	70	0.9	4.8	-
TPS30M5P10	30	70	0.9	4.8	8.6
TPS30M5P30	30	70	0.9	4.8	27.0
TPS20	20	80	0.9	-	-
TPS20M1	20	80	0.9	0.9	-
TPS20M3	20	80	0.9	2.9	-
TPS20M5	20	80	0.9	4.8	-
TPS20M5P10	20	80	0.9	4.8	8.6
TPS20M5P30	20	80	0.9	4.8	27.0

3.2. การทดสอบการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล

เตรียมชิ้นงานไฮโดรเจลให้ได้ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน จากนั้นใส่ชิ้นงานไฮโดรเจลในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จับเวลา 15 นาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นงานไฮโดรเจลออกจากน้ำกลั่น ชั่งน้ำ

ด้วยกระดาษเบาๆ ชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำกลั่น นำชิ้นงานเดิมลงแช่น้ำกลั่น และนำขึ้นมาชั่ง น้ำหนักที่ระยะเวลา 30 60 180 360 นาที และเมื่อครบ 24 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณร้อยละ การดูดซึมน้ำตามสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W_1} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำกลั่น (กรัม)

W_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำกลั่น (กรัม)

3.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาไฮโดรเจล

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างไฮโดรเจลขนาด $1 \times 1 \times 1$ เซนติเมตร นำไปอบไล่ความชื้นที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นงานที่แห้งไปเคลือบทองบริเวณพื้นผิวแล้ว ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT 300

3.4. การทดสอบการย่อยสลายของไฮโดรเจลในดิน

เตรียมดินปลูกลงในกระถางขนาด $60 \times 60 \times 30$ เซนติเมตร ตัดชิ้นงานไฮโดรเจล ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ เซนติเมตร จากนั้นชั่งน้ำหนักไฮโดรเจลก่อนนำไปฝังดิน ฝังชิ้นงาน ไฮโดรเจลที่ความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร โดยความชื้นของดินระหว่างการทดสอบ อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 จากนั้นนำชิ้นงานขึ้นมาชั่งน้ำหนัก ในช่วงเวลา 7 14 21 และ 28 วัน โดยใช้ปรอทวัดความชื้นดินออกเบา ๆ ก่อนชั่งน้ำหนัก

ผลการศึกษา

1. ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

ไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง น้ำกลั่น PVA KPS เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา และ MA เป็นสารเชื่อมขวาง ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 1 โดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลา ตามที่กำหนด และให้ไฮโดรเจลคงตัวเป็นเวลา 3 วัน ไฮโดรเจลที่เตรียมได้มีลักษณะทาง กายภาพดังภาพที่ 1 (ก-ง) และ ภาพที่ 2 (ก-ง) จากผลการทดลอง พบว่า ไฮโดรเจลที่มี ปริมาณแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 30 มีความแข็งมากกว่าสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 20 เมื่อทดสอบด้วยการกดชิ้นงานยุบตัวลงเล็กน้อย เมื่อมีการเพิ่มสารเชื่อมขวาง ในสูตร TPS30M1 และ TPS20M1 จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของไฮโดรเจลจากใส ไม่มีสี เป็นสีเหลืองอ่อนและมีการแตกออกของชิ้นงานไฮโดรเจลบางส่วน และเมื่อเพิ่ม ปริมาณ MA ในสูตร TPS30M3 TPS30M5 TPS20M3 และ TPS20M5 ไฮโดรเจลมี ความสามารถในการเกาะตัวเป็นก้อน คงรูปเป็นชิ้นงานได้ดี สามารถแกะออกจากแม่พิมพ์ได้ ง่าย และไฮโดรเจลสูตรที่มีการเติมสาร MA เมื่อทดสอบด้วยการกดลงบนชิ้นงานด้วยแท่ง

แก้วแล้วปล่อย ไฮโดรเจลสามารถคืนตัวได้ดีกว่าสูตรที่ไม่เติม MA ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อดูดซับน้ำเพราะสามารถโอบอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ 30:70

(ก) TPS30 (ข) TPS30M1 (ค) TPS30M3 (ง) TPS30M5



(ก)



(ข)



(ค)



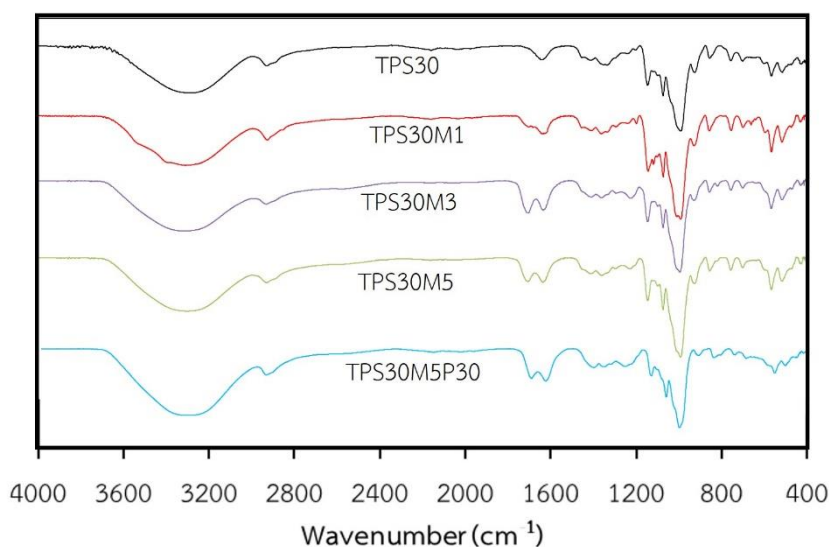
(ง)

ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ 20:80

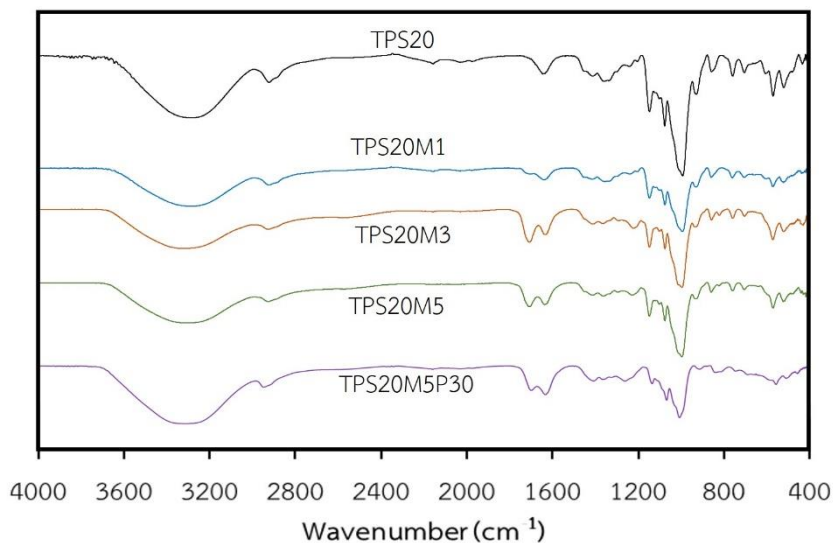
(ก) TPS20 (ข) TPS20M1 (ค) TPS20M3 (ง) TPS20M5

2. ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของไฮโดรเจล

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR-ATR ของไฮโดรเจลโดยวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วง $4,000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ดังภาพที่ 3 และ 4 พบว่า สเปกตรัมอินฟราเรดของไฮโดรเจลทั้ง 10 สูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบนั้นมีพิกปรากฏอยู่ในช่วง $3,200-3,500 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ในช่วง 2900 cm^{-1} เป็นช่วงการสั่นของหมู่ $C-H$ แบบยืด 1375 cm^{-1} เป็นการสั่นของโมเลกุล $C-H$ แบบงอและ 1100 cm^{-1} เป็นการสั่นของโมเลกุลแบบยืดของ $C-O$ [12] เมื่อพิจารณาช่วง 1720 cm^{-1} แสดงพิกของ $C=O$ ปรากฏขึ้นในสูตรที่มีการเติม MA แสดงถึงการเกิดเอสเทอร์ในไฮโดรเจลจากการเชื่อมขวางของโมเลกุลแป้งกับ MA และ PVA กับ MA ซึ่งพิกดังกล่าวไม่ปรากฏในสเปกตรัม FTIR ของ TPS30 และ TPS20 [9]



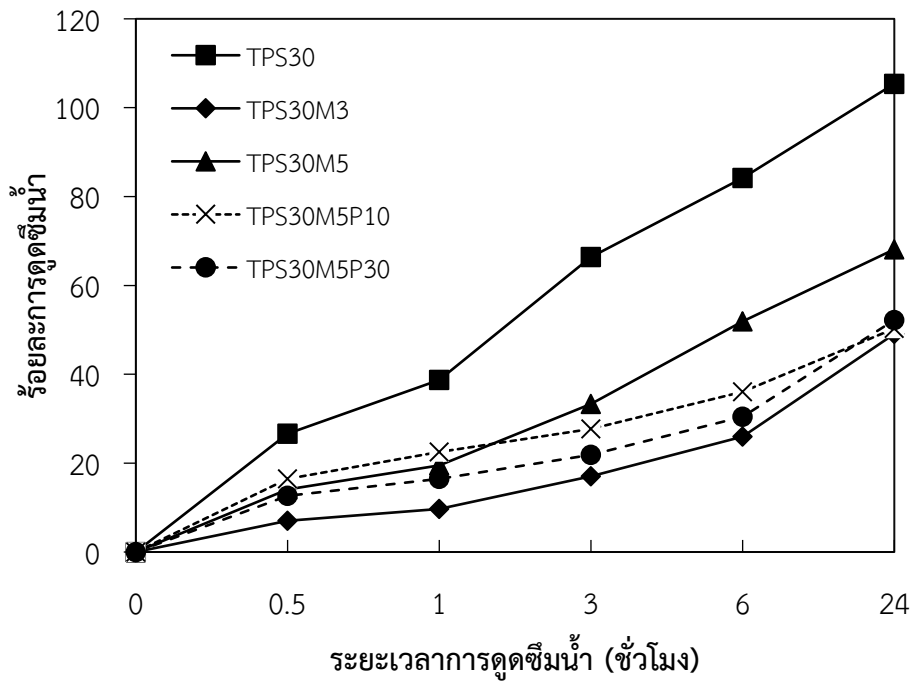
ภาพที่ 3 สเปกตรัม FTIR ของไฮโดรเจลสูตรแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30



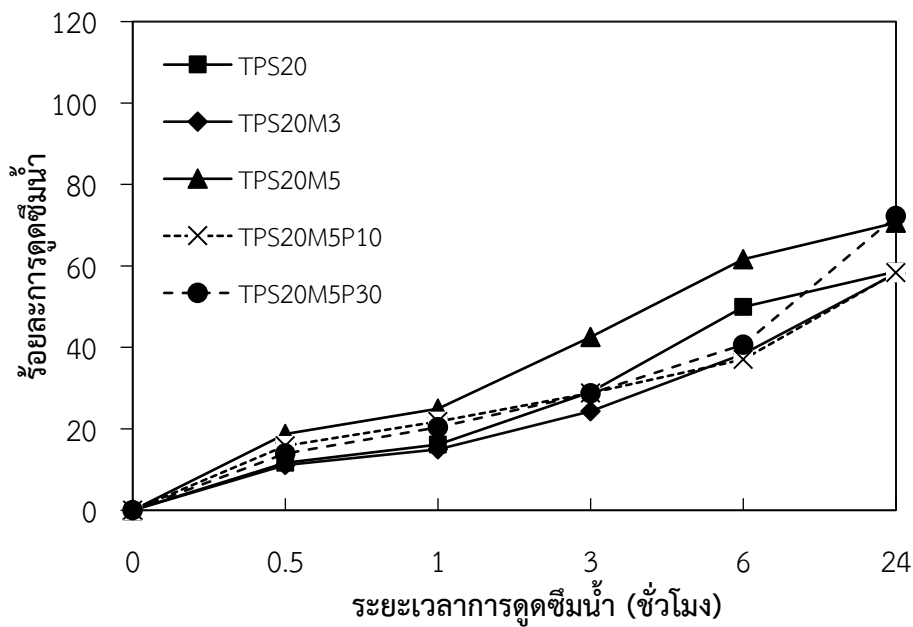
ภาพที่ 4 สเปกตรัม FTIR ของไฮโดรเจลสูตรแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20

3. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล

จากภาพที่ 5 และ 6 แสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง 30 และ 20 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจนครบ 24 ชั่วโมง ไฮโดรเจลทุกสูตรมีร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ไฮโดรเจลสูตรที่มีสัดส่วนแป้ง 30 ที่มีร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุดได้แก่ สูตร TPS30 ที่ร้อยละ 105 เมื่อเติม MA และ PVA ร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร TPS30 ปริมาณ MA มีผลต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ สังเกตได้จากสูตร TPSM5 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงกว่าในสูตร TPSM3 และเมื่อเติม PVA ยิ่งทำให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลระหว่างสัดส่วนแป้ง 30 และ 20 พบว่าสูตรที่มีสัดส่วนแป้ง 30 มีร้อยละการดูดซึมน้ำสูงกว่า สำหรับร้อยละการดูดซึมน้ำสูงสุดของไฮโดรเจลสัดส่วนแป้ง 20 อยู่ที่สูตร TPS20M5P30 มีค่าเท่ากับร้อยละ 71 รองลงมาที่มีค่าใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 69 คือสูตร TPS20M5 โดยสังเกตว่าการเติม PVA ส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกับการไม่เติมสารเชื่อมขวาง MA ในสูตรที่มีแป้งสัดส่วน 20



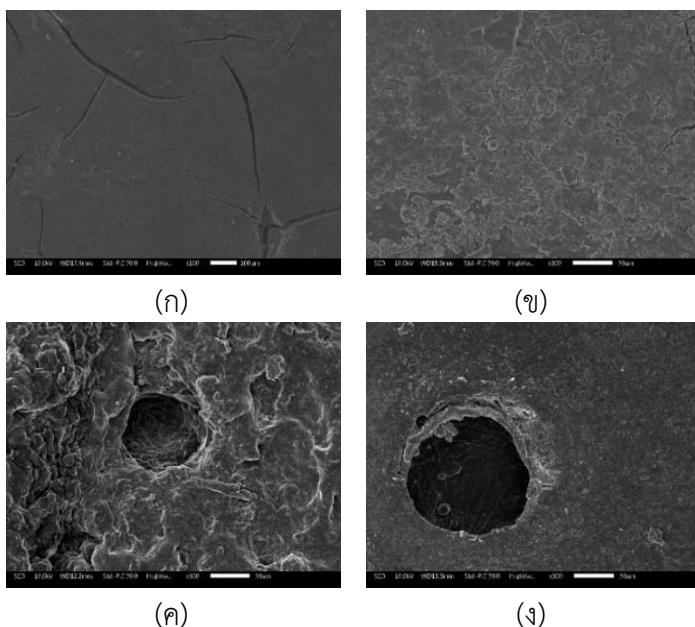
ภาพที่ 5 ร้อยละการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่มีสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังเท่ากับร้อยละ 30



ภาพที่ 6 ร้อยละการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่มีสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังเท่ากับร้อยละ 20

4. ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของไฮโดรเจล

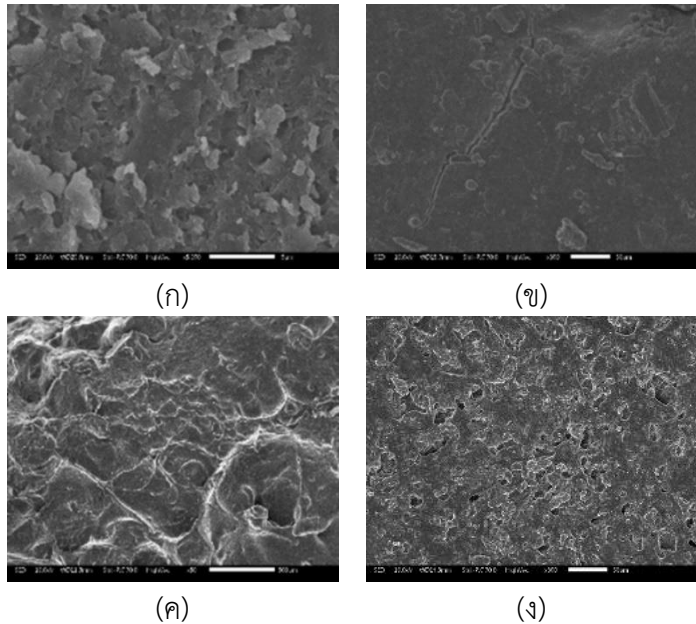
ภาพถ่าย SEM ของไฮโดรเจลในภาพที่ 7 และ 8 พบว่าพื้นผิวของไฮโดรเจลกำลังขยาย 300 แสดงให้เห็นว่ามีความขรุขระ และมีรูพรุนที่ทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซึมน้ำได้ดี [13] ไฮโดรเจลที่มี PVA เป็นองค์ประกอบนั้นยังไม่สามารถเข้ากันได้กับแป้งมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาสูตร TPS30M5P10 และ TPS20M5P10 สังเกตพบว่ามีรอยต่อระหว่างเฟสของแป้งมันสำปะหลังและ PVA เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีการเติม PVA เนื่องจากความไม่เข้ากันของแป้งมันสำปะหลังและ PVA และสังเกตได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ PVA ในสูตรไฮโดรเจล TPS30M5P30 และ TPS20M5P30 พบช่องว่างที่เกิดขึ้นในโครงสร้างไฮโดรเจล ซึ่งส่งผลให้การคงรูปและโอบอัมน์น้ำไว้ในโครงสร้างไฮโดรเจลได้ลดลง สอดคล้องกับผลร้อยละการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลของไฮโดรเจลลดลงในสูตรที่มีการเติม PVA มากขึ้นและอาจเนื่องมาจาก PVA เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อไฮโดรเจลที่มีปริมาณ PVA มากขึ้นจะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น [8]



ภาพที่ 7 สัณฐานวิทยาของไฮโดรเจลอัตราส่วนแป้ง 30

(ก) ไม่มีการเติม MA (ข) เติม MA 5 pph

(ค) เติม MA 5 pph และ PVA 10 pph (ง) เติม MA 5 pph และ PVA 30 pph

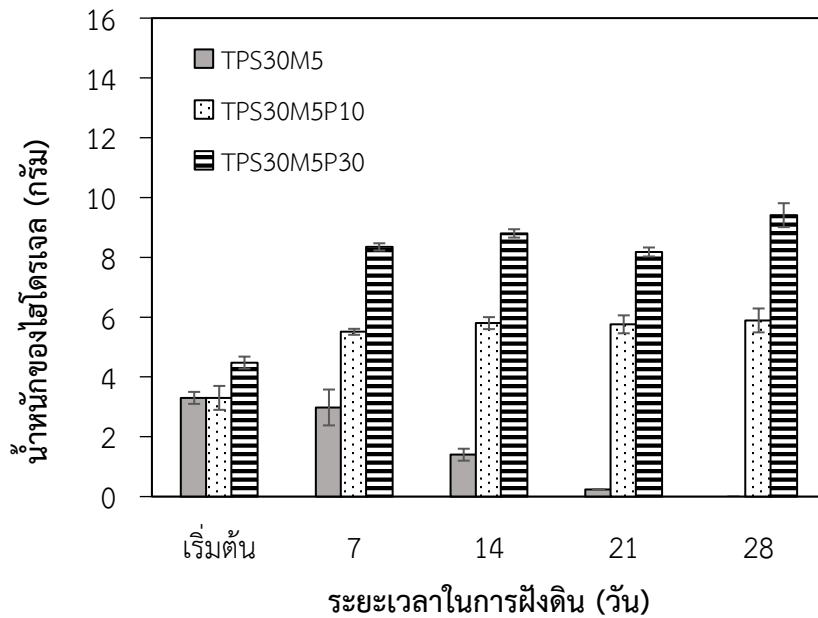


(ก) ไม่มีการเติม MA (ข) เติม MA 5 pph

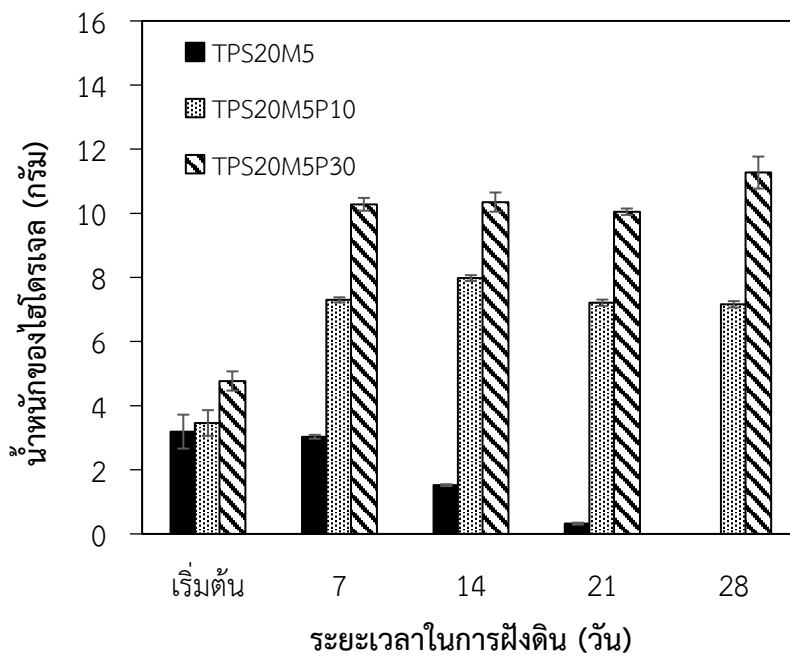
(ค) เติม MA 5 pph และ PVA 10 pph (ง) เติม MA 5 pph และ PVA 30 pph

5. ผลการทดสอบการย่อยสลายของไฮโดรเจล

จากภาพที่ 9 และ 10 แสดงน้ำหนักของไฮโดรเจลที่บันทึกทุก 7 วันจนครบ 28 วัน เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานการย่อยสลายในดินของไฮโดรเจล ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรเจลในสูตร TPS30 และ TPS20 นั้นย่อยสลายไปก่อนเวลา 7 วันจึงไม่ได้แสดงผลในภาพที่ 9 และ 10 สำหรับสูตรไฮโดรเจลที่มีการเติม MA ใช้เวลาย่อยสลายนานกว่าสูตรที่ไม่เติม MA ไฮโดรเจลสูตร TPS30M5 และ TPS20M5 แสดงผลที่ใกล้เคียงกันคือน้ำหนักของไฮโดรเจลลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อผ่านไป 14 วันและเมื่อครบ 28 วันย่อยสลายจนหมด เมื่อศึกษาการย่อยสลายของไฮโดรเจลที่มีการเติม PVA พบว่าไฮโดรเจลมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นโดยสูตร TPS30M5P30 และ TPS20M5P30 มีค่าน้ำหนักของไฮโดรเจลมากกว่าน้ำหนักเดิมถึง 2 เท่า



ภาพที่ 9 น้ำหนักไฮโดรเจลสูตรที่มีแบ่งอัตราส่วน 30 ที่ฝังดินในระยะเวลา 28 วัน



ภาพที่ 10 น้ำหนักไฮโดรเจลสูตรที่มีแบ่งอัตราส่วน 20 ที่ฝังดินในระยะเวลา 28 วัน

วิจารณ์

การเตรียมไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการเติมสารเชื่อมขวางชนิด MA เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดโครงสร้างร่างแห และเติม PVA เพื่อให้ไฮโดรเจลมีระยะเวลาใช้งานที่ยาวนานขึ้นนั้น ไฮโดรเจลในอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเท่ากับ 30:70 และ 20:80 มีลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานไฮโดรเจลที่สามารถคงรูปได้ทั้ง 2 อัตราส่วน เมื่อนำไปศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมีของไฮโดรเจลด้วย FTIR-ATR เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมขวาง MA พบพิกที่ตำแหน่ง 1720 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล ($\text{C}=\text{O}$) ของ MA ที่ต่ออยู่กับโครงสร้างของสายโซ่แป้ง และสังเกตว่าช่วงพิกที่ $3200\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ ลดลงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากการที่หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งลดลงจากการทำปฏิกิริยากับกรดแอนไฮไดรด์ ($-\text{COO}-$) ของ MA เกิดเป็นโครงสร้างระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sungho [14] และเมื่อเติม PVA ในการเตรียมไฮโดรเจลพบพิกที่ตำแหน่ง 1100 cm^{-1} ลดลงเล็กน้อยอันเนื่องมาจากการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของ PVA และ MA ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Riyajan [10]

สมบัติสำคัญของไฮโดรเจลคือความสามารถในการดูดซับน้ำ ไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังและ PVA ที่มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูง อันเนื่องมาจากในโครงสร้างไฮโดรเจลประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งมันสำปะหลังที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก มีความเป็นขั้วและชอบน้ำ (Hydrophilicity) ทำให้ในสูตรที่มีปริมาณแป้งอัตราส่วนมากกว่ามีร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่า คือสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30 มีร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าสูตรที่มีร้อยละของแป้ง 20 และเมื่อพิจารณาผลของการเติมสารเชื่อมขวาง MA พบว่าที่สูตร TPS20M5 มีร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่า TPS20 และ TPS20M3 เนื่องจากการเติม MA จะเพิ่มหมู่คาร์บอนิลที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้กับโมเลกุลของน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riyajan และ ชัยวุฒิ [15,16] แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนแป้ง 30 พบว่าสูตรที่ไม่ได้เติม MA มีร้อยละการดูดซับน้ำเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมงมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่มีปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่มากกว่าสูตรแป้ง 20 และการเติมปริมาณ MA ไม่เพียงพอให้เกิดโครงสร้างร่างแหทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้โมเลกุลน้ำบางส่วนหลุดออกจากโครงสร้างไฮโดรเจล ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Riyajan [15] เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลที่เติม PVA ในภาพที่ 5 และ 6 พบว่าไฮโดรเจลมีการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติม เนื่องจาก PVA เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-crystalline polymer) ผลึกของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปบางส่วน จะไปขัดขวางโมเลกุลของน้ำที่แทรกเข้าไปในโครงสร้างไฮโดรเจล ส่งผลให้การบวมตัวของไฮโดรเจลลดลงและร้อยละการดูดซับน้ำลดลง ซึ่ง

สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิสิษฐ์ [17] และเมื่อพิจารณาพร้อมกับภาพถ่าย SEM จะเห็นได้ว่าการผสม PVA ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังยังไม่สามารถเข้ากันได้ ถึงแม้ว่า PVA จะมีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของโมเลกุล จะเห็นรอยต่อระหว่างเฟสของแป้งมันสำปะหลังและ PVA ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถหลุดออกได้ ดังภาพที่ 7 และ 8

อีกหนึ่งสมบัติสำคัญในการผลิตไฮโดรเจลเพื่อการใช้งานเป็นวัสดุดูดซับน้ำเพื่อให้ความชุ่มชื้นกับดินในทางการเกษตรนั้นคือความสามารถที่จะอยู่ในดินได้นานโดยไม่ย่อยสลายไปในระยะเวลาที่สั้นเกินไป เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบการย่อยสลายในดินของไฮโดรเจลในแต่ละสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังผสมดังภาพที่ 9 และ 10 พบว่าไฮโดรเจลที่ไม่มีการเติม PVA มีการย่อยสลายเมื่อผ่านไป 28 วันจนหมด เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในดิน [16] และเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรเจลที่มีการเติม PVA ทั้ง 2 อัตราส่วนของแป้งพบว่าไฮโดรเจลมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และสามารถบวมตัวตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยสูตร TPS30M5P30 และ TPS20M5P30 มีค่าน้ำหนักของไฮโดรเจลมากกว่าน้ำหนักเดิม 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากไฮโดรเจลเมื่อถูกฝังดินจะสามารถดูดซับน้ำจากในดินเข้าไปกักเก็บไว้ในโครงสร้างไฮโดรเจลไว้ได้ และสามารถคงอยู่ในดินได้ถึง 28 วันและมีแนวโน้มอยู่ได้นานมากขึ้น การเติม PVA ในไฮโดรเจลจะทำให้ไฮโดรเจลสามารถต้านทานการย่อยสลายในดินได้ดีกว่าสูตรที่ไม่มีการเติม PVA ลงไปผสมเนื่องจากสมบัติของ PVA ที่ย่อยสลายในดินได้ช้ากว่าการย่อยสลายในบ่อบำบัดทางชีวภาพ [18] ทั้งนี้ขึ้นกับระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสและมวลโมเลกุลของ PVA ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chai [19] ที่ศึกษาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งเทอโรโมพลาสติกและ PVA พบว่าการเพิ่มอัตราส่วน PVA มากขึ้นส่งผลให้การย่อยสลายในดินช้าลงต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 180 วันน้ำหนักของชิ้นงานจึงลดลงเหลือร้อยละ 50

สรุป

จากการศึกษาสมบัติของไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังผสม PVA และใช้ MA เป็นสารเชื่อมขวาง พบว่าอัตราส่วนของแป้งมีผลต่อสมบัติการดูดซับน้ำ โดยอัตราส่วนของแป้งที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการดูดซับน้ำสูงขึ้น สูตรที่มีร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุดคือ TPS30 เมื่อเติม MA และ PVA ส่งผลให้ร้อยละการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลส่วนใหญ่ลดลงเนื่องจากการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลแป้งและ MA รวมทั้งผลึกของ PVA ขัดขวางการดูดซับน้ำในโครงสร้างของไฮโดรเจล แต่ทั้งนี้ยังต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างแป้ง MA และ PVA สำหรับผลของการเติม PVA เพื่อการยืดอายุของไฮโดรเจลต่อการย่อยสลายในดินพบว่า ไฮโดรเจลที่มีการย่อยสลายในดินได้ช้าที่สุดที่ระยะเวลา 28 วันคือสูตร TP5M5P30 จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้พัฒนา

เป็นวัสดุดูดซับน้ำเพื่อรักษาความชื้นในดินให้กับงานการเกษตร แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาสมบัติอื่นของไฮโดรเจลเพิ่มเติม เช่น องค์ประกอบของไฮโดรเจลหลังการย่อยสลายในดิน การศึกษาการบวมตัวและสลายตัวในน้ำหรือน้ำเกลือ และสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลซึ่งผู้วิจัยวางแผนที่จะทำการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจำนวนเงิน 15,000 บาท จากศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ปีการศึกษา 2561 ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ในการอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางพอลิเมอร์ ห้องปฏิบัติการทางเคมี และเครื่องมือที่ใช้

เอกสารอ้างอิง

1. อัญชลี มุลาสะเก, อภิญญา อุทธา, สายันต์ แสงสุวรรณ, ชัยวุฒิ วัชรัง. ผลของกลูต้าอัลดีไฮด์ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลเชื่อมขวางแบบโครงร่างตาข่ายของน้ำยางพริ้วคานาไนซ์ด้วยกำมะถันและแป้งมันสำปะหลัง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 2557;17:22-8.
2. วารุณี ตานันต์, สายันต์ แสงสุวรรณ. พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก: การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ และ การประยุกต์ใช้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2557;16:63-81.
3. Kiatkamjornwong S, Mongkolsawat K, Sonsuk M. Synthesis and property characterization of casava starch grafted poly(acrylamide-co-(maleic acid)) superabsorbent via γ -irradiation. Polymer 2002;43:3915-24.
4. Zhai M, Yoshii F, Kum T, Hashim K. Syntheses of PVA/starch grafted hydrogels by irradiation. Carbohydr Polym 2002;50:295-303.
5. จตุพร ประทุมเทศ, วริษฐา ศิลาอ่อน, ชัยวุฒิ วัชรัง, อุษณา พัวเพิ่มพูนศิริ. การศึกษาความหนืดและคุณสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลโครงร่างตาข่ายแบบแทรกสอดจากยางธรรมชาติและแป้ง. วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน 2557;9:6-10.
6. ยิ่งศักดิ์ ไกรพิณิจ, ดุษฎี อุตภาพ, วิไล รังสาดทอง, จุริรัตน์ พุดตานเล็ก. การศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งพุทธรักษา. การ

- ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาวิทยาศาสตร์; 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2551; กรุงเทพฯ.
7. พัทธราภรณ์ วุฒิเจริญมงคล, ปิณณธร รุ่งรัตนพร, จิตนิภา รุ่งเรืองประภา. การเตรียมและคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด. วารสารวิศวกรรมศาสตรศาสตร์ 2561;4:3-9.
 8. Parimal M, Arijit G, Sougata J, Nirmal M, Preparation and characterization of maleic anhydride cross-linked chitosan-polyvinyl alcohol hydrogel matrix transdermal patch. J Pharma SciTech 2013;2:62-7.
 9. นัตถุลา วงศ์ตะ, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์, จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ผลของเวลาและอุณหภูมิในการผสมที่มีต่อสมบัติและความเข้ากันของพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดกับแป้งเทอร์โมพลาสติกมาลีโอต. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 9; 2554; คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี.
 10. Riyajan S, Sukhlaaied W, Keawmang W. Preparation and properties of a hydrogel of maleated poly(vinyl alcohol) (PVAM) grafted with cassava starch. Carbohydr Polym 2015;122:301-7.
 11. ปวีณา จันทร์สีทอง. การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [บัณฑิตนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา; 2561.
 12. ภูวนันท์ วศุตม์ธำณนทน์. อิทธิพลของการเติมยางธรรมชาติและยางธรรมชาติที่ดัดแปรที่มีต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2551.
 13. รุ่งระวี ศิริบุญนาม, สุปราณี แก้วภิรมย์. ผลของกลูตารัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติและการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของปุ๋ยโคโคซานไฮโดรเจล. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 2562;38:42-56.
 14. Sungho P. Novel starch composite [dissertation of Doctor of Philosophy in chemical engineering]. Ontario: University of Waterloo; 2019.
 15. Riyajan S, Sasithornsonti Y, Phinyocheep P. Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release. Carbohydr Polym 2012;89:251-8.

16. ชัยวุฒิ วัตจัง. ผลของอัตราส่วนยางและแป้งต่อสมบัติของไฮโดรเจลชนิดพอลิเมอร์เชื่อมขวางแบบกึ่งโครงร่างตาข่ายและการประยุกต์ใช้ในการปลูกดาวเรือง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2560;19:49-62.
17. วิสิทธิ์ แวสูงเนิน. พอลิเมอร์ไฮโดรเจลสำหรับการประยุกต์เป็นวัสดุเพื่อควบคุมการปล่อยยา. รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2557.
18. ดารณี ชันเพชร, ปิยะนุช รสเครือ. การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ)/โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (โซเดียม-ซีเอ็มซี) สำหรับประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ 2557;6:447-55.
19. Chai W, Chow J, Chen C, Chuang F, Lu W. Evaluation of the biodegradability of polyvinyl alcohol/starch blends: a methodological comparison of environmentally friendly materials. J Polym Environ 2009;17:71-82.