การเตรียมและคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด

Preparation and Properties of Hydrogels from Wheat, Rice, and Corn Starches

พัชราภรณ์ วุฒิเจริญมงคล*[1)] ปัณณธร รุ่งรัตนพร[1)] และ จิตนิภา รุ่งเรืองประภา[1)]

Patcharaporn Wutticharoenmongkol*[1)] Pannathorn Rungrattanaphorn[1)] and Jitnipa Rungruengprapa[1)]

[1)]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ไฮโดรเจลจากแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และโซเดียมเตตระบอเรตเดคาไฮเดรต (บอแรกซ์) เป็นสารเชื่อมขวาง โดยเตรียมไฮโดรเจลที่อัตราส่วนโดยโมลของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.05 1:0.1 1:0.5 และ 1:1 พบว่าอัตราส่วนข้างต้นที่ทำให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงสุดคือ 1:0.1 และไฮโดรเจลที่ใช้บอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางให้ค่าการดูดซึมน้ำที่มากกว่ากรณีที่ใช้กลูตารัลดีไฮด์ นอกจากนี้ไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งสาลีและแป้งข้าวโพดตามลำดับ โดยไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวที่ใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 11.5 และ 14 กรัมน้ำ/กรัมไฮโดรเจลแห้ง ตามลำดับ จากการทดสอบการดูดซึมน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเกลือ 4.3 และ 5.9 กรัมน้ำ/กรัมไฮโดรเจลแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำของไฮโดเจลโดยการใช้เอทานอลช่วยในการตกตะกอนพบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำ 22.5 และ 26 กรัมน้ำ/กรัมไฮโดรเจลแห้ง ตามลำดับ การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบว่าหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) ที่อยู่ในแป้งลดลง แสดงว่ามีการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดขึ้น และจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยวิธีเทอร์มอลแกรวิเมตริก (TGA) พบว่าไฮโดรเจลมีความเสถียรทางความร้อนน้อยกว่าแป้งที่เป็นสารตั้งต้น

คำสำคัญ: ไฮโดรเจล แป้ง การดูดซึมน้ำ การเชื่อมขวาง กลูตารัลดีไฮด์ บอแรกซ์

Abstract

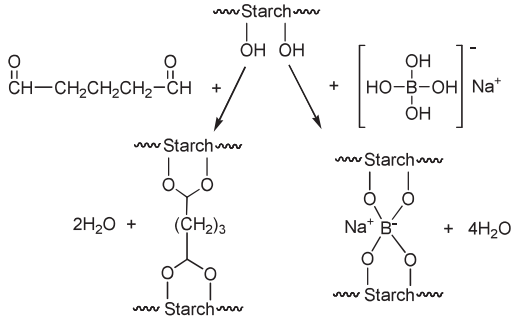
In this study, hydrogels were synthesized from three different types of starch which were wheat, rice, and corn starches, using glutaraldehyde and sodium tetraborate decahydrate (borax) as crosslinking agents. They were prepared by using the molar ratio for hydroxyl group of starch:reaction of crosslinking of 1:0.05, 1:0.1, 1:0.5 and 1:1. The ratio of 1:0.1 yielded the hydrogel with the highest amount of water absorbency. The hydrogels crosslinked with borax had higher amount of water absorbency than those with glutaraldehyde. The hydrogels prepared from rice starch had the highest amount of water absorbency followed by those from wheat and corn starches, respectively. The hydrogels prepared from rice starch and crosslinked with glutaraldehyde and borax had the highest amount of water absorbency at 24 h of 11.5 and 14 g-water/g-dry hydrogel, respectively. The amount of saline absorbency (at 0.9% sodium chloride) were 4.3 and 5.9 g-water/g-dry hydrogel, respectively. The water absorbency of hydrogel was improved by using ethanol to precipitate the hydrogel in which the amount of water absorbency were 22.5 and 26 g-water/g-dry hydrogel, respectively. The chemical structure of hydrogels was studied by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The hydroxyl functional group in hydrogels was decreased comparing to that in the starting starch which confirmed that the crosslinking was achieved. The thermal stability of hydrogels was investigated by thermal gravimetric analysis (TGA). The hydrogels were thermally less stable than the starting starch.

Keywords: Hydrogel, Starch, Water absorbency, Crosslinking, Glutaraldehyde, Borax

1. บทนำ

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย และมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (–OH) หมู่คาร์บอกซิล (–COOH) หมู่เอไมด์ (–CONH) และหมู่ซัลโฟนิก (-SO_3H) เป็นต้น ไฮโดรเจลจึงเป็นสารที่ชอบน้ำ สามารถดูดซึมน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้มากแต่ไม่ละลายน้ำ ในปัจจุบันไฮโดรเจลได้รับความสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายรูปแบบ เช่น ด้านสุขอนามัยใช้ไฮโดรเจลเป็นวัสดุดูดซึมของเหลวในผ้าอ้อมสำเร็จรูปและผ้าอนามัย ด้านการแพทย์ได้นำมาผลิตเป็นวัสดุปิดแผล [1] เพื่อดูดซึมของเหลวที่ซึมออกมาจากแผล พร้อมทั้งเป็นตัวช่วยรักษาความชุ่มชื่นของบาดแผลให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมและทำให้แผลหายเร็วขึ้นใช้ผลิตคอนแท็คเลนส์ใช้เป็นวัสดุในการนำส่งยา [2] ด้านการเกษตรใช้ไฮโดรเจลในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารหรือปุ๋ย นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวดูดซึมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำได้อีกด้วย [3]

ไฮโดรเจลสามารถผลิตได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์และพอลิเมอร์ธรรมชาติ พอลิเมอร์จากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เตรียมไฮโดรเจลได้เช่น เซลลูโลส โปรตีน ไคโตซาน และแป้งเป็นต้น แป้งเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่หาได้ง่าย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาถูก งานวิจัยจำนวนหนึ่งจึงศึกษาการใช้แป้งเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมไฮโดรเจล เช่น แป้งมันฝรั่ง [4] แป้งมันสำปะหลังและแป้งพุทธรักษา [5] นอกจากนี้ยังมีการใช้แป้งชนิดต่างๆ ทำการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันร่วมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง [6] แป้งสาคู [7] และแป้งมันเทศ [8] สารที่ใช้เชื่อมขวางมีได้หลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่จะเกิดปฏิกิริยา พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลสามารถถูกเชื่อมขวางได้โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ [9] แป้งมีหน่วยซ้ำเป็นหน่วยกลูโคสและมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก แป้งจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างแป้งกับกลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลเพื่อเป็นวัสดุสำหรับดูดซึมของเหลว โดยเตรียมจากแป้งชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพดที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์ โดยศึกษาผลของชนิดแป้ง ชนิดและปริมาณของตัวเชื่อมขวาง ที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจลที่ได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

แป้งสาลี (wheat starch) แป้งข้าวเหนียว (rice starch) แป้งข้าวโพด (corn starch) จากบริษัทบีบีไอ จำกัด กลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) จากบริษัท Acros Organics, Belgium โซเดียมเตตระบอเรต $Na_2B_4O_7.10H_2O$ เดคาไฮเดรต หรือบอแรกซ์ ($Na_2B_4O_7.10H_2O$, sodium tetraborate decahydrate, borax) จากบริษัท Carlo Erba, Italy และเอทานอล (ethanol) จากบริษัท Lab-Scan Asia, Thailand

2.2 การสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากแป้ง

ชั่งแป้ง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 24 กรัม นำไปให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก จนแป้งละลายหมดที่อุณหภูมิประมาณ 95°C จากนั้นลดอุณหภูมิของสารละลายลงมาที่อุณหภูมิห้อง เติมสารเชื่อมขวาง ได้แก่ กลูตารัลดีไฮด์หรือบอแรกซ์ที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.05 1:0.1 1:0.5 และ 1:1 โดยโมล แล้วกวนสารละลายจนเข้ากันดี โดยใช้เวลาประมาณ 20 นาที นำสารละลายที่ได้เทใส่ถ้วยฟอยล์แล้วนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ไฮโดรเจล

สำหรับการคำนวณปริมาณแป้งและสารเชื่อมขวางที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเท่ากับ 1:1 หากใช้แป้ง 1 กรัม โดยแป้งประกอบด้วยหน่วยซ้ำเป็นกลูโคส ($C_6H_{12}O_5$) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 162 กรัมต่อโมล ดังนั้นจึงเท่ากับ 6.2 มิลลิโมลของหน่วยกลูโคส และเนื่องจากแต่ละหน่วยกลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จึงคิดเป็น 18.6 มิลลิโมลหมู่ไฮดรอกซิล หากพิจารณาปฏิกิริยาตามรูปที่ 1 พบว่ากลูตารัลดีไฮด์ 1 โมล จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลได้ 4 หมู่ ดังนั้นจึงใช้กลูตารัลดีไฮด์ 0.465 กรัม หรือ 4.65 มิลลิโมล จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ไฮดรอกซิล

2.3 การสังเคราะห์ไฮโดรเจลโดยใช้เอทานอลในการตกตะกอนเพื่อปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำ

สังเคราะห์ไฮโดรเจลตามหัวข้อ 2.2 จนถึงขั้นตอนที่เติมสารเชื่อมขวางและนำสารละลายไปกวนจนละลายดีแล้ว นำเอทานอล 500 มิลลิลิตร มาเติมลงในสารละลายที่ได้ และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารซึ่งมีลักษณะคล้ายเจลออกจากสารละลาย นำเจลที่ได้ไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ไฮโดรเจล

2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจล

นำไฮโดรเจลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีด้วยวิธี FT-IR ด้วยเครื่องมือรุ่น Thermo scientific, model Nicolet 6700 โดยนำตัวอย่างมาบดผสมกับ KBr และเตรียมในรูปแผ่น (disc) ก่อนนำไปวิเคราะห์

2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจล

นำไฮโดรเจลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยวิธี TGA ด้วยเครื่อง Mettler Toledo TGA/DSC3+ โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 50-600°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

2.6 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำและน้ำเกลือ (absorbency) ของไฮโดรเจล

นำไฮโดรเจลที่เตรียมได้มาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและบรรจุในถุงชาไนลอนขนาด 5.5x7 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่นหรือน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่เวลาต่างๆ ได้แก่ 1 2 3 4 60 และ 1,440 นาที ตามลำดับ นำไฮโดรเจลออกมาชั่งและบันทึกน้ำหนักของไฮโดรเจลที่เวลาต่างๆ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลดังสมการที่ (1)

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ (g/g)} = \frac{M - M_d}{M_d} \qquad (1)$$

เมื่อ M = น้ำหนักไฮโดรเจลเปียก

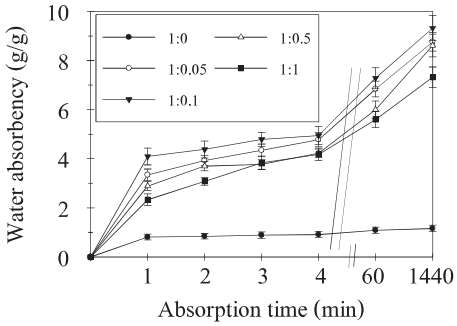
M_d = น้ำหนักไฮโดรเจลแห้ง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

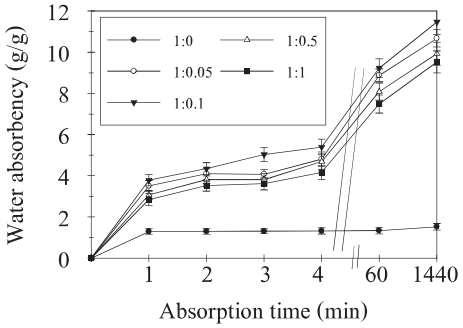
ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้จากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวจะมีความเปราะมากที่สุด รองลงมาคือแป้งสาลีและแป้งข้าวโพด อาจเนื่องมาจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินซึ่งเป็นโครงสร้างแบบกิ่งมากที่สุด โดยมีร้อยละ 83 ในขณะที่แป้งสาลีและแป้งข้าวโพดมีปริมาณอะมิโลเพกตินร้อยละ 77 และ 73 ตามลำดับ [10] ทำให้ความเป็นผลึกของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวเหนียวมีค่าน้อยกว่ากรณีของแป้งสาลีและแป้งข้าวโพด

3.1 ผลของปริมาณสารเชื่อมขวางที่มีต่อค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล

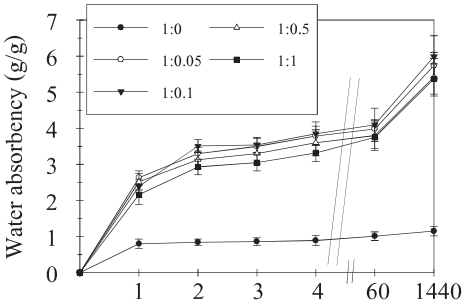
ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด โดยมีกลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง แสดงดังรูปที่ 2-4 และค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด โดยมีบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวาง แสดงดังรูปที่ 5-7 ผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซึมเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางจาก 1:0.05 ไปเป็น 1:0.1 ไฮโดรเจลมีความสามารถในดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อัตราส่วน 1:0.05 มีปริมาณของสารเชื่อมขวางน้อยมาก จึงอาจทำให้ไฮโดรเจลเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายที่ไม่มากนักหรือยังไม่เกิดการเชื่อมขวาง จึงทำให้ดูดซึมน้ำได้น้อย และเมื่อเพิ่มสารเชื่อมขวางจากอัตราส่วน 1:0.1 เป็น 1:0.5 และ 1:1 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลลดลง เนื่องจากไฮโดรเจลที่มีระดับการเชื่อมขวางมากขึ้น จะทำให้มีช่องว่างในโครงสร้างร่างแหเล็กลงจึงทำให้ดูดซึมน้ำได้ลดลง [11] โดยค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งทุกชนิดที่ใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1 โดยไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด มีค่าการดูดซึมน้ำ 9.3 11.5 และ 6 กรัม/กรัม ตามลำดับ และค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งทุกชนิดที่ใช้บอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1 เช่นกัน โดยไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด มีค่าการดูดซึมน้ำ 11 14 และ 8.5 กรัม/กรัม ตามลำดับ



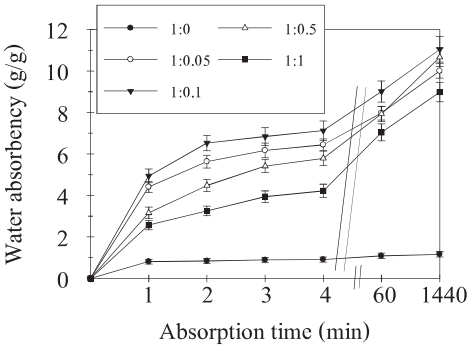
รูปที่ 2 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งสาลีที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์



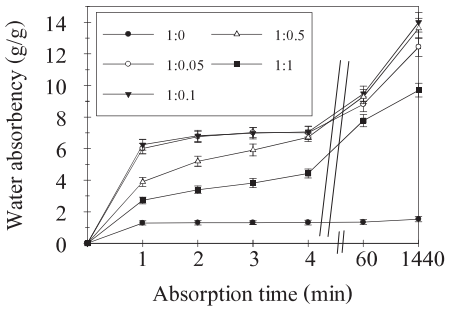
รูปที่ 3 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์



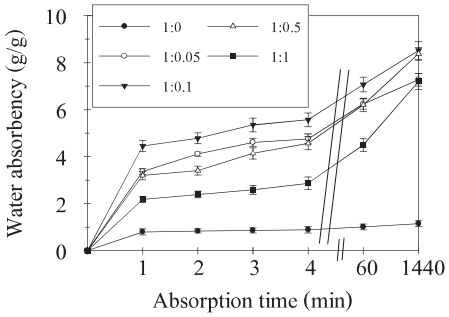
รูปที่ 4 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวโพดที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์



รูปที่ 5 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งสาลีที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์



รูปที่ 6 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์



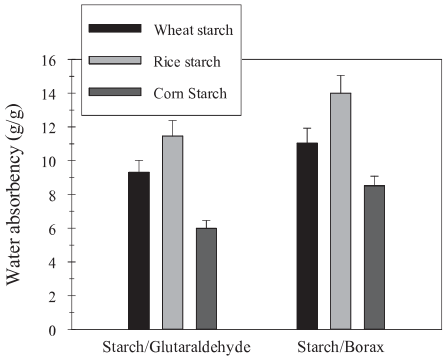
รูปที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวโพดที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์

3.2 ผลของชนิดแป้งและสารเชื่อมขวางที่มีต่อค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล

การเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจล เมื่อใช้ชนิดของแป้งและสารเชื่อมขวางที่แตกต่างกัน ทำได้โดยการนำค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่ดีที่สุดที่เตรียมจากแป้งและสารเชื่อมขวางแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน นั่นคืออัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1 ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยพบว่าไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวจะดูดซึมน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดตามลำดับ เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินมากกว่าแป้งสาลีและแป้งข้าวโพด [10] โดยอะมิโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างแบบกิ่ง เมื่อเติมสารเชื่อมขวางลงไปอาจทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแหได้ดีกว่า ทำให้ไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ชนิดของสารเชื่อมขวางที่แตกต่างกัน พบว่าไฮโดรเจลที่สังเคราะห์โดยใช้บอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่ากรณีที่ใช้กลูตารัลดีไฮด์ อาจเนื่องมาจากบอแรกซ์สามารถละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนเตตระไฮดรอกซีบอเรต $[B(OH_4)]^-$ ซึ่งเมื่อเชื่อมขวาง

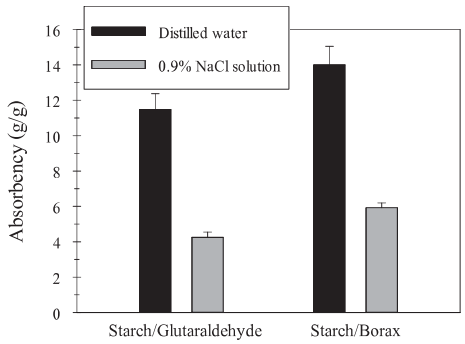
กับแป้งแล้วจะเกิดเป็นไฮโดรเจลที่มีขั้ว จึงสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่ากรณีที่ใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง



รูปที่ 8 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนหมู่ไฮดรอกซิลต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1

3.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำเกลือของไฮโดรเจล

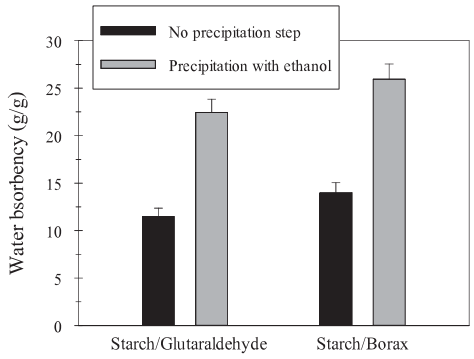
การศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำเกลือของไฮโดรเจล ทำได้โดยนำไฮโดรเจลที่มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุดมาทดสอบ นั่นคือไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวที่อัตราส่วน 1:0.1 มาแช่ในน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 9 โดยพบว่าค่าการดูดซึมน้ำเกลือของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่าเท่ากับ 4.3 และ 5.9 กรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าการดูดซึมน้ำกลั่น จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซึมสารละลายเกลือมีค่าน้อยกว่าการดูดซึมน้ำกลั่น เนื่องจากความสามารถในการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลขึ้นกับแรงดันออสโมติก ปริมาณน้ำภายในและภายนอกโครงสร้างของไฮโดรเจลมีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ถ้าแรงดันออสโมติกมีความแตกต่างกันมาก โมเลกุลของน้ำจะสามารถแพร่เข้าไปในไฮโดรเจลได้มากขึ้น ซึ่งน้ำกลั่นมีแรงดันออสโมติกต่ำที่สุดเนื่องจากไม่มีตัวถูกละลาย จึงทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซึมน้ำกลั่นได้มาก แต่สารละลายเกลือมีส่วนประกอบของ Na^+ และ Cl^- จึงทำให้มีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำกลั่น จึงทำให้ไฮโดรเจลดูดซึมสารละลายเกลือได้น้อยกว่าน้ำกลั่น



รูปที่ 9 ค่าการดูดซึมน้ำและน้ำเกลือของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวเหนียว

3.4 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่เตรียมโดยใช้เอทานอลในการตกตะกอน

การปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลสามารถทำได้โดยใช้เอทานอลในการตกตะกอนไฮโดรเจลก่อนที่จะนำไปอบแห้ง ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.3 โดยไฮโดรเจลที่ใช้ทดสอบนั้นสังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียว และใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 10 โดยพบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมงของไฮโดรเจลที่ใช้เอทานอลในการตกตะกอนเมื่อใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่าเท่ากับ 22.5 และ 26 กรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าไฮโดรเจลที่ไม่ใช้เอทานอลในการตกตะกอน อาจเนื่องมาจากเอทานอลช่วยดึงน้ำออกจากโครงสร้างของไฮโดรเจลอย่างช้าๆ ก่อนที่จะนำไปอบ ในขณะที่การนำไฮโดรเจลไปอบให้แห้งในเตาอบลมร้อนทันทีโดยไม่มีการตกตะกอนด้วยเอทานอลอาจทำให้โครงสร้างของไฮโดรเจลมีความเสียหายมากกว่าแบบที่ใช้เอทานอลตกตะกอน จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำน้อยกว่า อย่างไรก็ตามค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังมีค่าน้อยกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมขวางด้วยซัคซินิก-แอนไฮไดรด์ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำ 120 กรัม/กรัม [4] และ 92 กรัม/กรัม [5] ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังที่กราฟต์กับ maleated poly (vinyl alcohol) ที่มีค่าการดูดซึมน้ำ 2.75 กรัม/กรัม [12]



รูปที่ 10 ค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลจากแป้งข้าวเหนียวที่ใช้และไม่ใช้เอทานอลตกตะกอน

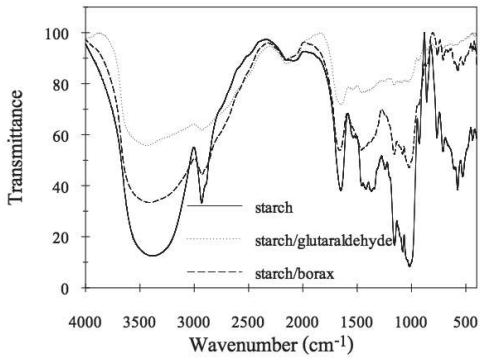
3.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจล

รูปที่ 11 แสดงสเปกตรา FT-IR ของแป้งข้าวเหนียวที่เป็นสารตั้งต้น ไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยมีกลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง และไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยมีบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวาง ที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1 พบพีคที่เลขคลื่น 3,383 3,416 และ 3,448 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งเป็นพีคของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) และพบว่าค่าการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของไฮโดรเจลทั้ง 2 ชนิดมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่เป็นสารตั้งต้น แสดงให้เห็นว่ามีการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งและสารเชื่อมขวางเกิดขึ้น

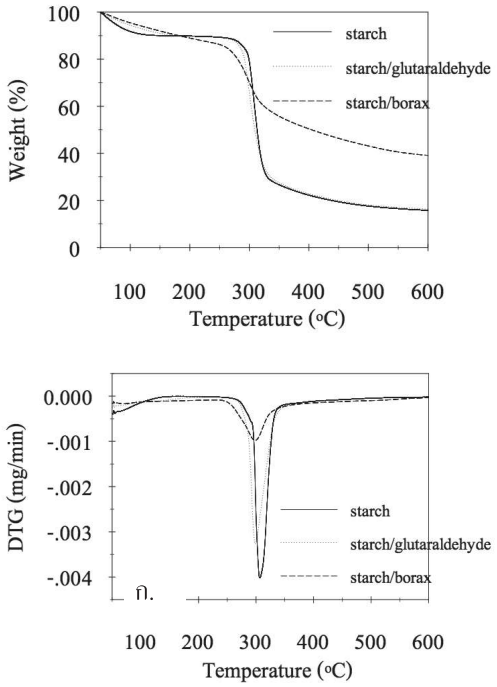
3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไฮโดรเจล

รูปที่ 12 ก. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยวิธี TGA ของแป้งข้าวเหนียวที่เป็นสารตั้งต้น ไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยมีกลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง และไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยมีบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวาง ที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.1 และรูปที่ 12 ข. แสดงกราฟจากการวิเคราะห์ DTG (Derivative Thermogravimetric Analysis) ของตัวอย่างข้างต้น

ผลการทดลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน 2 ช่วง ช่วงแรกเริ่มที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำหรือความชื้นของตัวอย่าง โดยสิ้นสุดที่อุณหภูมิ 150 °C และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวทางความร้อนของแป้งข้าวเหนียวแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ และแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์ ที่อุณหภูมิ 307 °C 298 °C และ 299 °C ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าไฮโดรเจลมีความเสถียรทางความร้อนน้อยกว่าแป้งที่ไม่ได้เชื่อมขวางอาจเนื่องมาจากไฮโดรเจลมีความเป็นรูพรุนในโครงสร้างมากกว่าแป้ง จึงมีพื้นที่ผิวมากกว่าและมีการสลายทางความร้อนได้ง่ายกว่าแป้งที่เป็นสารตั้งต้น [13]



รูปที่ 11 สเปกตรา FT-IR ของแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ และแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์



รูปที่ 12 ก. กราฟ TGA และ ข. กราฟ DTG ของแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ และแป้งข้าวเหนียวที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมไฮโดรเจลจากแป้งสาลี แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด โดยมีกลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวาง ที่อัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งต่อการทำปฏิกิริยาของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 1:0.05 1:0.1 1:0.5 และ 1:1

พบว่าอัตราส่วนที่ทำให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำดีที่สุดคือ 1:0.1 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของแป้งที่มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำ พบว่าไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวมีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด รองลงมาคือแป้งสาลีและแป้งข้าวโพดตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารเชื่อมขวาง พบว่าการเชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่มากกว่าการเชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ ซึ่งไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 11.5 และ 14 กรัม/กรัม ตามลำดับ และเมื่อนำไฮโดรเจลข้างต้นไปทดสอบการดูดซึมน้ำเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 พบว่าไฮโดรเจลมีค่าการดูดซึมน้ำเกลือที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 4.3 และ 5.9 กรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการดูดซึมน้ำกลั่น โดยปฏิกิริยาของแป้งที่เป็นสารตั้งต้นกับสารเชื่อมขวางสามารถยืนยันได้โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี FT-IR ซึ่งพบว่าหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) ในแป้งลดลง แสดงว่ามีการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดขึ้น แต่เมื่อนำไฮโดรเจลไปทดสอบความเสถียรทางความร้อนด้วยวิธี TGA พบว่าไฮโดรเจลมีความเสถียรทางความร้อนน้อยกว่าแป้งที่เป็นสารตั้งต้น นอกจากนี้ยังได้ปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลโดยใช้เอทานอลช่วยในการตกตะกอน พบว่าไฮโดรเจลมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับไฮโดรเจลที่ไม่ใช้เอทานอลตกตะกอน โดยค่าการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 22.5 และ 26 กรัม/กรัม ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ที่ใช้ในงานวิจัย จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] Jiang Q, Zhou W, Wang J, Tanga R, Zhang D, Wang X. Hypromellose succinate-crosslinked chitosan hydrogel films for potential wound dressing. Int J Biol Macromol 2016; 91: 85-91.

[2] Marcelo G, López-González M, Trabado I, Rodrigo MM, Valiente M, and Mendicuti F. Lignin inspired PEG hydrogels for drug delivery. Mater Today Commun. 2016; 7: 73-80.

[3] Yan WL, Bai R. Adsorption of lead and humic acid on chitosan hydrogel beads. Water Res. 2005; 39: 688-98.

[4] Yoshimura T, Yoshimura R, Seki C, Fujioka R. Synthesis and characterization of biodegradable hydrogels based on starch and succinic anhydride. Carbohyd Polym. 2006; 64: 345-49.

[5] Kraipinit Y, Uttapap D, Rungsardthong V, Puttanlek C. Characterization of hydrogels prepared from cassava and canna starches. Proceeding of the 46th Conference of Kasetsart University (Science); 2008 January. Bangkok, p. 1-9. (In Thai).

[6] Kiatkamjornwong S, Mongkolsawat K, Sonsuk M. Synthesis and property characterization of cassava starch grafted poly[acrylamide-co-(maleic acid)] superabsorbent via γ-irradiation. Polymer. 2002; 43: 3915-24.

[7] Lee JS, Kumae RN, Rozman HD, Azemi BMN. Pasting, swelling and solubility properties of UV initiated starch-graft-poly(AA). Food Chem. 2005; 91: 203-11.

[8] Qunyi T, Ganwei Z. Rapid synthesis of a superabsorbent from a saponified starch and acrylonitrile/AMPS graft copolymers. Carbohyd Polym. 2005; 62: 74-9.

[9] Figueiredo KCS, Alves TLM, Borges CP. Poly(vinyl alcohol) films crosslinked by glutaraldehyde under mild conditions. J Appl Polym Sci. 2009; 111: 3074-80.

[10] Srirot K, Piyajomkwan K. Technology of starch. 4th ed. Kasetsart University Press; 2007.

[11] Khan S, Ranjha NM. Effect of degree of cross-linking on swelling and on drug release of low viscous chitosan/poly(vinyl alcohol) hydrogels. Polym Bull. 2014; 71: 2133-58.

[12] Riyajan S, Sukhlaaied W, Keawmang W. Preparation and properties of a hydrogel of maleated poly(vinylalcohol) (PVAM) grafted with cassava starch. Carbohyd Polym. 2015; 122: 301-7.

[13] Aggarwal P, Dollimore D. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. Thermochim Acta. 1998; 319: 17-25.