

การปรับสภาพกายภาพร่วมกับเคมีของกกอีียิปต์โดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์
เพื่อนำไปใช้ในทางวัสดุชีวภาพ
Physical and Chemical Pretreatment of *Cyperus papyrus* Using Sodium
Chloride Solution for Biomaterials Application

ณัฐยา เรืองปราษฎณ์¹, กาญจนา ลอยทะเล¹, มณฑิรา พงษ์พยัคฆ์¹ และ ธเนศ รังษีสุริยะชัย^{1*}
Nattaya Ruangprach¹, Kanjana Loythala¹, Montira Pongpayak¹, Thaneeya Rangseesuriyachai^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110
¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 12110

*Corresponding Author: thaneeya.r@en.rmutt.ac.th

Received 27 กันยายน 2567; Revised 6 พฤศจิกายน 2567; Accepted 13 พฤศจิกายน 2567

บทคัดย่อ

การปรับสภาพด้วยความร้อนจากน้ำร่วมกับเคมีเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีชีวมวลในภาคการผลิตวัสดุชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเซลลูโลสที่เหมาะสมกับงานด้านวัสดุ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกกอีียิปต์ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนจากน้ำร่วมกับทางเคมี ในการลดปริมาณลิกนินที่เป็นองค์ประกอบของกกอีียิปต์ เพื่อให้ได้สัดส่วนของเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงได้ ในการทดลองนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในการปรับสภาพโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลพร้อมกับการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์และแปรเปลี่ยนปริมาณกกอีียิปต์ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ 1:5 1:10 1:20 และ 1:30 (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ตามลำดับ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้มีความเข้มข้น 2 โมลาร์ ทำการปรับสภาพเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 1:20 สามารถลดปริมาณลิกนินได้สูงสุดที่ร้อยละ 11.68 และในขณะเดียวกันก็เป็นอัตราส่วนที่สามารถเพิ่มปริมาณเซลลูโลสได้มากที่สุดที่ร้อยละ 18.07 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนมีผลต่อการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเนื่องจากทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกัน จึงใช้เป็นข้อพิจารณาในการนำไปใช้งานในอนาคต

คำหลัก: กกอีียิปต์; การปรับสภาพด้วยไฮโดรเทอร์มอล; โซเดียมคลอไรด์; อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว

Abstract

The combination of hydrothermal and chemical pretreatment is an important process in the development of biomass technology in the biomaterial production sector to enhance the efficiency of cellulose production suitable for biomaterials. The objective of this research was to study the appropriate ratio of papyrus to sodium chloride solution for pretreatment using heat from water combined with chemicals. In order to reduce the lignin content of papyrus to obtain a higher proportion of cellulose, it can be used as a feedstock for fuel production. In this experiment, the chemical composition of the pretreatment using the hydrothermal process along with the use of sodium chloride solution was studied. Moreover, the amount of papyrus to sodium chloride solution were varied at 1:5, 1:10, 1:20 and 1:30

(%w/v), respectively. The sodium chloride solution used had a concentration of 2 M and was pretreated for 20 min at a temperature of 200°C. The results showed that at a solid-to-liquid ratio of 1:20, the maximum amount of lignin could be reduced at 11.68%, and at the same time, it was the ratio that could increase the cellulose amount the most at 18.07%. It indicated that ratios affect the selection of appropriate conditions for pretreatment because they cause different changes in chemical composition. Therefore, it is used as a consideration for future use.

Keywords: *Papyrus; hydrothermal pretreatment; sodium chloride; solid per liquid ratio*

1. บทนำ

พืชชีวมวลทางน้ำได้รับการยอมรับว่าเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเนื่องจากมีคุณสมบัติในเรื่องของความยั่งยืน ความอุดมสมบูรณ์ และต้นทุนต่ำ รวมถึงมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความหลากหลาย ประกอบด้วยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [1] กกอียิปต์ (*Cyperus papyrus* L.) เป็นพืชที่อยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำ อัตราผลผลิตสูง เจริญเติบโตง่าย และเป็นชีวมวลที่มีเซลลูโลสสูงสามารถนำมาใช้ในการผลิตวัสดุชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพได้ [2] โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส (53.29–62.04%) และลิกนิน (22.42–32.77%) [3] อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้เป็นวัสดุเซลลูโลสหรือโดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพจำเป็นต้องผ่านกระบวนการในการปรับปรุงสภาพเพื่อให้วัสดุมีองค์ประกอบที่เหมาะสม มีปริมาณขององค์ประกอบจำเป็นในการใช้งานที่สูง การเข้าถึงของเอนไซม์ทำได้ง่าย ซึ่งรูปแบบในการปรับปรุงสภาพนั้นมีหลากหลายทั้งกระบวนการทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ หรือการทำงานร่วมกันในแต่ละกระบวนการ เป็นต้น [4]

การปรับปรุงสภาพด้วยความร้อนจากน้ำ (Hydrothermal) ร่วมกับเคมี มีข้อได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์ สามารถเพิ่มเซลลูโลสและลดความเป็นผลึกด้วยการให้ความร้อนเพื่อทำลายผนังเซลล์และละลายเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน [5] Chen และคณะ ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสภาพด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับการสกัดเอทานอลเพื่อเตรียมฟางข้าวสาลีสำหรับการผลิตโอลีโอแกซคาลไรด์ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิต่างๆ (120–200 องศาเซลเซียส) ตามด้วยการปรับปรุงด้วยเอทานอลร้อยละ 70 ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 เพื่อการแยกลิกนิน พบว่า

อุณหภูมิมีผลต่อการแยกลิกนิน และการใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลกับชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหลักที่มีความเป็นไปได้ทางพลังงานสูง เนื่องจากการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และการเพิ่มการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายและพื้นที่ผิว [6] และการปรับปรุงสภาพด้วยโลหะคลอไรด์คาดว่าจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกรดอินทรีย์ และมีโอกาสที่จะแยกออกจากผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาได้ง่าย มีงานวิจัยหลายชิ้นรายงานว่าโลหะคลอไรด์บางชนิดสามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นสารเคมีที่มีประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โลหะคลอไรด์ยังสามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ Liu และคณะ ทำการปรับปรุงสภาพเศษซังข้าวโพดด้วยโลหะคลอไรด์อินทรีย์ ได้แก่ NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, FeSO₄, FeCl₃ และ Fe₂(SO₄)₃ พบว่า โลหะคลอไรด์ ช่วยเพิ่มการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในสารละลายได้อย่างมีนัยสำคัญ ที่อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 140 ถึง 200 องศาเซลเซียส และทำให้มีการเก็บกู้เฮมิเซลลูโลสในปริมาณสูง การกำจัดเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้นอีกด้วย [7] นอกจากนี้ Moodley และ Kana ศึกษาวิธีการปรับปรุงสภาพเศษอ้อยโดยใช้เกลืออนินทรีย์ร่วมกับไมโครเวฟ เพื่อเพิ่มการย่อยสลายทางเอนไซม์ โดยได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์กระบวนการ เช่น ความเข้มข้นของเกลือพบว่า การปรับปรุงสภาพสารประกอบเกลือสามารถกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนเกลือที่รุนแรงกว่าน้ำบริสุทธิ์ ทำให้สารละลายเกลือมีความร้อนสูงขึ้นและใช้เวลาสั้นลงได้ อีกทั้งสารละลายเกลือยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [8]

ดังนั้นเพื่อเป็นการเตรียมกกอียิปต์ให้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้สำหรับการผลิตวัสดุชีวภาพหรือ

เชื้อเพลิงชีวภาพได้นั้นโดยมุ่งเน้นในการกำจัดลิกนินและการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเซลลูโลส งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของการปรับสภาพกกอียิปต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งเป็นสารที่มีราคาไม่แพงและหาได้ง่ายเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทอื่น เช่น โลหะคลอไรด์ชนิดอื่นๆ [9] และศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมีในการปรับสภาพกกอียิปต์ โดยทำการแปรเปลี่ยนปริมาณกกอียิปต์ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 1:5 1:10 1:20 และ 1:30 ตามลำดับ ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 2 โมลาร์ Banerjee และคณะได้ศึกษาการปรับสภาพด้วยโซเดียมคลอไรด์ช่วง 0.1-5.0 โมลาร์ ช่วงที่มีประสิทธิภาพคือ 1.0-2.0 โมลาร์ [10] และทำการปรับสภาพเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (จากการศึกษาช่วงอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพสำหรับการปรับสภาพด้วยความร้อนอยู่ระหว่าง 140 ถึง 200 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 10 ถึง 30 นาที) [11] ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการผลิตวัสดุชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ซึ่งจะเป็นการใช้วัสดุจากธรรมชาติที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในหลายๆ ด้าน

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมกกอียิปต์

วัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ส่วนของลำต้นกกอียิปต์ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ชุ่มน้ำในจังหวัดสุพรรณบุรี มีความสูงจากลำต้นส่วนเหนือน้ำถึงส่วนบนของดอกประมาณ 1.5-2 เมตร โดยมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน เมื่อนำพืชมาจากพื้นที่ปลูกแล้วจะทำการลดขนาดของต้นกกอียิปต์โดยตัดส่วนดอกออกไปให้มีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร ทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.149 มิลลิเมตร ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 และนำมาหาปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของส่วนต้นกกอียิปต์ตามธรรมชาติ และเก็บในถุงสุญญากาศเพื่อรอทำการทดลองต่อไป

2.2. อุปกรณ์สารเคมีที่ใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ตู้อบ ชุดอุปกรณ์ไฮโดรเทอร์มอล เครื่องปั่นละเอียด ตะแกรงร่อนเบอร์ 100 และอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, กรดซัลฟิวริก, สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต, สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต และสารละลาย 1.10-ฟีนานโทรีนโมโนไฮเดรต

2.3 การปรับสภาพกกอียิปต์

นำกกอียิปต์ที่เตรียมไว้มาทำการปรับสภาพด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ โดยทำการแปรเปลี่ยนปริมาณกกอียิปต์ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 1:5 1:10 1:20 และ 1:30 ตามลำดับ ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 2 โมลาร์ ทำการปรับสภาพเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำด้วยกัน เมื่อปรับสภาพกกอียิปต์เสร็จนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น (DI) จนตัวอย่างมีความเป็นกลาง จากนั้นทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บใส่ถุงสุญญากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส หลังการปรับสภาพต่อไป



รูปที่ 1 การปรับสภาพกกอียิปต์

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของต้นกกอียิปต์

องค์ประกอบทางเคมีที่ทำกรวิเคราะห์สำหรับส่วนต้นกกอียิปต์ก่อนและหลังการปรับสภาพทำตาม TAPPI T203 om-88 สำหรับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส [12] และวิธี TAPPI T222-om-88 สำหรับลิกนิน [13]

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของต้นกกอียิปต์
 ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วน 1:20 และ 1:10

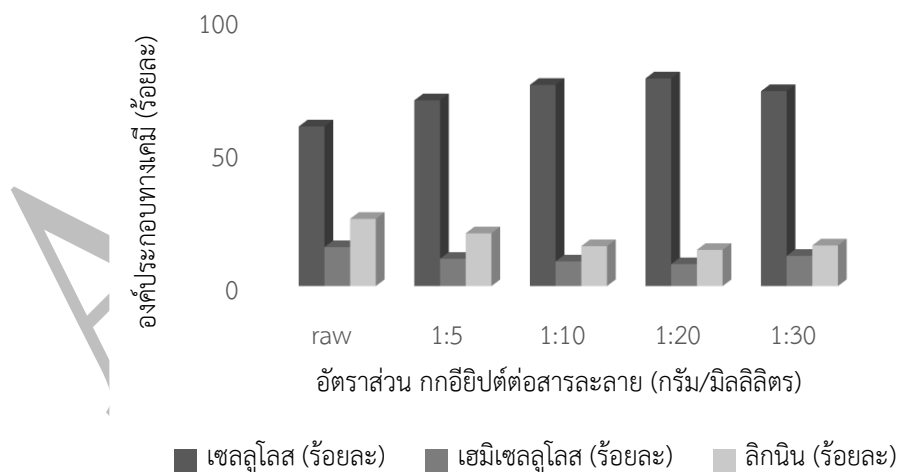
3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

อัตราส่วนของวัสดุต่อสารละลายที่ใช้ในการปรับสภาพ มีผลต่อการเข้าถึงและทำปฏิกิริยาในการปรับสภาพ โดยอัตราส่วนที่ดีจะทำให้เกิดการกำจัดลิกนินและส่งผลให้เซลลูโลสเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากลิกนินเป็นตัวขัดขวางพื้นที่ผิวในการเข้าถึงได้ของสารเคมีหรือเอนไซม์ในกระบวนการเปลี่ยนลิกนินเซลลูโลสเป็นกลูโคส [14] ในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงผลการศึกษาการปรับสภาพกกอียิปต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ของกกอียิปต์หลังการปรับสภาพ และทำการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีเริ่มต้นของกกอียิปต์ส่วนลำต้น เพื่อพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับสภาพให้มีปริมาณลิกนินที่น้อยและเซลลูโลสที่มากขึ้น

จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซลล์ulosไฟเบอร์หรือผลิตพลังงานชีวภาพได้ต่อไป ดังแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 องค์ประกอบของกกอียิปต์ก่อนและหลังการปรับสภาพ

กกอียิปต์เป็นพืชประเภทลิกโนเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เถ้า โปรตีน ไขมัน เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชหรือลิกโนเซลลูโลส [15] ดังนั้นการปรับสภาพแต่ละวิธีจึงมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนไปจากก่อนการปรับสภาพ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของส่วนต้นของกกอียิปต์ก่อนการปรับสภาพพบว่า มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับร้อยละ 60.05 14.66 และ 25.30 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาของปิยนุช [15] พบว่าเส้นใยกกอียิปต์มีเซลลูโลสร้อยละ 57.98 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 13.45 ลิกนินร้อยละ 25.42 เถ้าร้อยละ 6.07 และสารสกัดอื่นๆ ร้อยละ 3.15 ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองนี้ และเมื่อผ่านการปรับสภาพแล้วจะมีองค์ประกอบหลักต่างๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกกอียิปต์ก่อนและหลังการปรับสภาพ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นองค์ประกอบทางเคมีของกกอียิปต์หลังการปรับสภาพที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในทุกอัตราส่วนปริมาณเซลลูโลสมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับสภาพ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สัดส่วนของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มากขึ้น จนกระทั่ง

ถึงอัตราส่วนที่ 1: 30 ที่เซลลูโลสมีค่าที่ลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการลดลงกับเฮมิเซลลูโลสที่มีแนวโน้มเดียวกันในลักษณะทางตรงกันข้าม เช่นเดียวกับลิกนิน โดยอัตราส่วนที่ทำให้ค่าเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมากที่สุดและลิกนินลดลงมากที่สุดอยู่ที่อัตราส่วนเดียวกันคือ 1:20 มีปริมาณ

เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงร้อยละ 6.40 และ 11.68 ตามลำดับ มีปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.07% เนื่องจากการใช้สารประกอบเกลือร่วมกับการใช้ความร้อนมีผลต่อการทำลายโครงสร้างของลิกนิน [8] นอกจากนี้พบว่า อัตราส่วนในการปรับสภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของกอกอียิปต์ โดยการเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมคลอไรด์ในกระบวนการปรับสภาพของชีวมวลลิกโนเซลลูโลสสามารถมีผลในเชิงบวกต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์และการผลิตไบโอเอทานอลอีกด้วย [16]

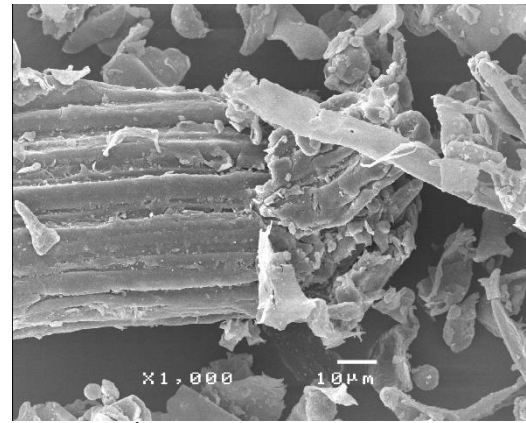
3.2. อัตราส่วนกอกอียิปต์ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับสภาพ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วน 1:20 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีร้อยละเซลลูโลสสูงสุดที่ 78.12 ซึ่งเป็นสารที่ต้องการมากที่สุดในการผลิตวัสดุจากกอกอียิปต์ นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในอัตราส่วนนี้ต่ำที่สุด (ร้อยละ 8.26 และ 13.62 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในกระบวนการปรับสภาพ การลดปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินจะช่วยให้กระบวนการผลิตเซลลูโลสบริสุทธิ์มากขึ้น ในด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิต อัตราส่วน 1:10 ไม่เพียงแต่ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง แต่ยังมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพสูง ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิตจากการลดปริมาณวัตถุดิบลง

3.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ในการศึกษานี้ได้ทำวิเคราะห์และเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของกอกอียิปต์ก่อนและหลังการปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมีโดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์โดยการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพ ดังแสดงสัณฐานวิทยาก่อนและหลังการปรับสภาพที่อัตราส่วนที่เหมาะสม ในรูปที่ 3-5

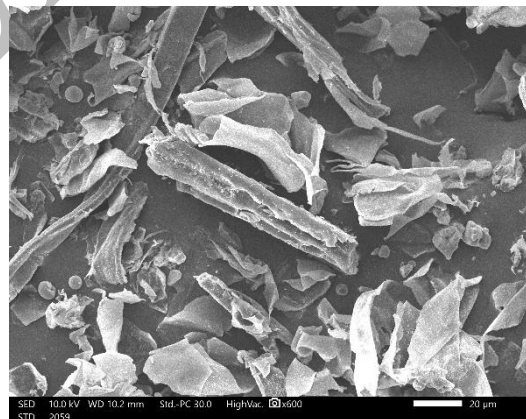
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของกอกอียิปต์ก่อนการปรับสภาพซึ่งมีพื้นผิวแสดงถึงโครงสร้างเส้นใยที่เรียงตัวกันอย่างแน่นและต่อเนื่อง โครงสร้างของกอกอียิปต์ยังคงมีการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงการยึดเกาะของลิกนินที่ทำให้โครงสร้างของกอกอียิปต์ยังคงอยู่ในสภาพเดิม



รูปที่ 3 กอกอียิปต์ก่อนการปรับสภาพ



รูปที่ 4 กอกอียิปต์หลังการปรับสภาพที่อัตราส่วน 1:10



รูปที่ 5 กอกอียิปต์หลังการปรับสภาพที่อัตราส่วน 1:20

รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของกอกอียิปต์หลังการปรับสภาพที่อัตราส่วน 1: 10 มีลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นเล็กน้อย แต่ยังคงมีความต่อเนื่องของเส้นใย ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างที่ยังคงยึดเกาะกันของลิกโนเซลลูโลสที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของกอกอียิปต์ เส้นใยในตัวอย่างยังคงมีการจัดเรียงเป็นโครงข่ายแบบเดิมอยู่บ้าง มีแนวโน้มที่จะขาดเป็นบางส่วนเนื่องจากการปรับสภาพด้วยโซเดียมคลอไรด์

รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของกอกอียิปต์หลังการปรับสภาพที่อัตราส่วน 1: 10 พบลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่า

และมีรูปพจนานุกรมอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับตัวอย่างในอัตราส่วน 1:10 ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มปริมาณสารละลาย (1:20) มีผลทำให้โครงสร้างเส้นใยมีการแตกหักและการยืดเกาะของโครงสร้างลิกนินที่อ่อนลง การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างพื้นผิวนี้บ่งชี้ว่าการใช้ปริมาณสารละลายที่สูงขึ้นมีประสิทธิภาพมากกว่าในการทำลายโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันของลิกโนเซลลูโลส ซึ่งส่งผลให้สารเคมีสามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลลูโลสได้มากขึ้น

จากการเปรียบเทียบพบว่า อัตราส่วน 1:20 ให้ผลที่เด่นชัดในแง่ของการทำลายโครงสร้างและเพิ่มความขรุขระมากกว่า 1:10 ซึ่งสามารถช่วยให้สารเคมีเข้าถึงโครงสร้างภายในของเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น และสามารถนำไปสู่การทำลายโครงสร้างในขั้นตอนต่อไปได้ดียิ่งขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

การปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนจากน้ำร่วมกับสารเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินและเพิ่มปริมาณเซลลูโลสที่อัตราส่วนกักอียิปต์ต่อโซเดียมคลอไรด์ 1: 20 โดยมีปริมาณลิกนินอยู่ที่ร้อยละ 13.62 และเซลลูโลสร้อยละ 78.12 สรุปได้ว่า อัตราส่วนกักอียิปต์ต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับสภาพคืออัตราส่วน 1:20 เนื่องจากให้ผลผลิตเซลลูโลสที่มีปริมาณสูงสุด พร้อมทั้งลดปริมาณสารที่ไม่ต้องการ เช่น เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ทำให้กระบวนการปรับสภาพมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุดในแง่ของเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นกระบวนการที่ดีในการปรับสภาพวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หาได้ง่าย และไม่มีสารเคมี สามารถกำจัดลิกนินได้สูง เป็นอีกทางเลือกที่ดีที่จะช่วยลดระยะเวลาในการปรับสภาพและเพิ่มศักยภาพในการนำประยุกต์ใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนในด้านสิ่งสนับสนุนการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] J. da Cruz Ferraz Dutra, M.F. Passos, É.R. Moretti, et al, “Methane production from lignocellulosic biomass using hydrothermal

pretreatment,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, no. 3, pp. 3699–3713, Apr. 2022.

[2] M.J. Rosado, F. Bausch, J. Rencoret, et al., “Differences in the content, composition and structure of the lignins from rind and pith of papyrus (*Cyperus papyrus* L.) culms,” *Industrial Crops and Products*, vol. 174, 114226, Dec. 2021.

[3] A. S. Taha, M. Z. Salem, W. A. Abo Elgat, H. M. Ali, A. A. Hatamleh, & E. M. Abdel-Salam, “ Assessment of the impact of different treatments on the technological and antifungal properties of papyrus (*Cyperus papyrus* L.) sheets,” *Materials*, vol. 2, no. 4, 620, 2019.

[4] สุภาวดี ผลประเสริฐ, “การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกนินเซลลูโลสสำหรับผลิตเอทานอล” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 5, หน้า 641-649, (ฉบับพิเศษ) 2557.

[5] T. Scapini, M.S.N. dos Santos, C. Bonatto, et al. , “ Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass for hemicellulose recovery,” *Bioresource Technology*, vol. 342, 126033, Dec. 2021.

[6] X. Chen, H. Li, S. Sun, X. Cao, & R. Sun, “Effect of hydrothermal pretreatment on the structural changes of alkaline ethanol lignin from wheat straw,” *Scientific Reports*, vol. 6, no. 1, Dec. 2016.

[7] S. R. Kamireddy, J. Li, M. Tucker, J. Degenstein, & Y. Ji, “Effects and mechanism of metal chloride salts on pretreatment and enzymatic digestibility of corn stover,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 52, no. 5, pp. 1775-1782, Jan. 2013

[8] P. Moodley, & E. B. G. Kana, “Microwave-assisted inorganic salt pretreatment of sugarcane leaf waste: Effect on

- physiochemical structure and enzymatic saccharification,” *Bioresource Technology*, vol. 235, pp. 35–42, Jul. 2017.
- [9] Z. Jiang, J. Yi, J. Li, T. He, & C. Hu, “Promoting effect of sodium chloride on the solubilization and depolymerization of cellulose from raw biomass materials in water,” *ChemSusChem*, vol 8, no. 11, pp. 1901-1907. Jun. 2015.
- [10] D. Banerjee, S. Mukherjee, S. Pal, & S. Khowala, “Enhanced saccharification efficiency of lignocellulosic biomass of mustard stalk and straw by salt pretreatment,” *Industrial Crops and Products*, vol 80, pp. 42-49. Feb. 2016.
- [11] P. Yue, Y. Hu, R. Tian, J. Bian, & F. Peng, “Hydrothermal pretreatment for the production of oligosaccharides: A review,” *Bioresource technology*, vol. 343, 126075, Jan. 2022.
- [12] Technical Association of the Pulp and Paper Industry: Sampling and Preparing Wood for Analysis, TAPPI Standard T203 om- 88. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1999.
- [13] Technical Association of the Pulp and Paper Industry: Sampling and Preparing Wood for Analysis, TAPPI Standard T222 om- 02. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2002.
- [14] บัญญัติ เฉิดฉิม, “การผลิตไบโอเอทานอลจากต้นปาล์มน้ำมัน” สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556.
- [15] ปิยนุช เปี้ยคง, “การศึกษาการผลิตไซโลสจากทะลายปาล์มเปล่า” วิทยานิพนธ์ (วิศวกรรมเคมี), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2557.
- [16] L. Sheferaw, R. K. Gideon, H. Ejegu, and Y. Gatew, “Extraction and Characterization of Fiber from the Stem of *Cyperus Papyrus* Plant,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 20, no. 1, Nov. 2022.
- [17] M. Gundupalli, P. Tantayotai, K. Rattanaporn, W. Pongprayoon, T. Phusantisampan, & M. Sriariyanun, “Effects of Inorganic Salts on Enzymatic Saccharification Kinetics of Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production,” *2021 The 10th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications*, Mar. 2021, vol. 13, pp. 63–67.