การเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพหญ้าเนเปียร์โดยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หมักร่วมกับเศษอาหาร

Evaluation of biogas production potential from combination of food waste with Pre-treatment of Napier grass by NaOH

คฑาพล ปิ่นพัฒนพงศ์[1,*] และ ฐนียา รังษีสุริยะชัย[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี
**Corresponding author; E-mail address: khathapon_p@rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารและทำการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/v ใช้ระยะเวลาในการปรับสภาพเท่ากับ 0.5 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศขนาด 1.5 ลิตร ทำการเติมวัสดุหมักเพียงครั้งเดียวระยะเวลาทำการทดลอง 45 วัน โดยผสมวัสดุหมักระหว่างหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารที่อัตราส่วน 25:75 โดยหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าผลการทดลอง เซลลูโลสเท่ากับร้อยละ 36.21 เฮมิเซลลูโลส เท่ากับร้อยละ 6.64 และมีปริมาณลิกนินเท่ากับร้อยละ 15.66 และเมื่อทำการปรับสภาพหญ้าด้วยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่ระยะเวลา 0.5 ชั่วโมง และ 1.0 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยเท่ากับร้อยละ 3.94 และ 4.38 ตามลำดับ เฮมิเซลลูโลสมีอัตราการลดลงเท่ากับร้อยละ 3.94 และ 4.37 และ ลิกนินเท่ากับร้อยละ 6.28 และ 8.05 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการแช่ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 w/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในกระบวนการหมักร่วมกับเศษอาหารเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากสามารถสลายพันธะของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้สูงสุด และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ พบว่าในถังที่ทำการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/v ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าถังที่ไม่มีการปรับสภาพ โดยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 37.37 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีกระบวนการปรับสภาพด้วยด่างนั้นใช้ในการกำจัดลิกโนเซลลูโลสในหญ้าเนเปียร์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, เศษอาหาร, หญ้าเนเปียร์, กระบวนการปรับสภาพ, กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

Abstract

This research aimed to find the amount of biogas produced by the co-fermentation of Napier grass and food waste and to compare the amount of biogas before and after pretreatment with 4% w/v sodium hydroxide solution for 0.5 and 1 hour, respectively. The 1.5-liter anaerobic reactor was used. The ferment materials were filled in the reactor for a single time. The experiment period was 45 days. The ferment materials were Napier grass mixed with food waste at the ratio of 25:75. The results showed that Napier grass without pretreatment contained cellulose content equal to 36.21%, hemicellulose content equals 6.64% and lignin content equal to 15.66%. When the grass were treated with sodium hydroxide solution at the concentration of 4% for 0.5 and 1 hour, it found out that the amount of cellulose content increased to 3.94% and 4.38%, respectively. The amount of Hemicellulose content decreased to 3.94 and 4.37% and lignin was 6.28 and 8.05%, respectively. Therefore, pretreated Napier grass with 4% w/v sodium hydroxide solution for 1 hour was selected for co-fermentation process with food waste for biogas production. This is because it demonstrated the most effective lignin and hemicellulose bond dissociation. The amount of biogas was measured at the end of the experiment and It found out that the amount of biogas in the reactor with 4% w/v sodium hydroxide pretreatment for 1 hour is higher than the amount of biogas of the reactor without pretreatment with the increased efficiency of 37.37%, indicating that the alkaline pretreatment technology is used to eliminate lignocellulose in Napier grass to enhance the potential for biogas production.

Keywords: Biogas, Food waste, Napier grass, Pretreatment, Anaerobic digestion

1. คำนำ

ในปัจจุบันความต้องการใช้ด้านพลังงานมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้เกิดปัญหาทางด้านพลังงานโดยเฉพาะพลังงานที่จำเป็นในชีวิตประจำวันคือพลังงานที่ก่อให้เกิดความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ไม่ว่าจะเป็น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน หรือถ่านหิน ที่เป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปซึ่งสวนทางกับปริมาณการใช้พลังงานของประชากรในการดำรงชีพที่มีการใช้พลังงานในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้ทำการปรับเป้าหมายของแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564) [1] ของประเทศไทย ที่มีเป้าหมายเพื่อเปลี่ยนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปเป็นพลังงานทดแทนโดยนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำการเกษตรมาผลิตเป็นพลังงานชีวภาพ การเลือกใช้หญ้าเนเปียร์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากเป็นกลุ่มพืชพลังงาน ที่ได้รับความนิยมให้เป็นอาหารแก่สัตว์แต่เพราะเป็นพืชที่มีกากใยสูงจึงจำเป็นที่จะต้องคัดเฉพาะบางส่วนให้สัตว์กิน อีกทั้งหญ้าเนเปียร์ยังเป็นพืชที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อม มีผลผลิตสูง และยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่เนื่องจากหญ้าเนเปียร์เป็นพืชที่มีลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักย่อยสลายได้ยาก จึงได้ทำการทดลองโดยการทำการปรับสภาพเบื้องต้น (Pretreatment) [2-3] เนื่องจากวัตถุดิบกลุ่มจำพวกลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) นั้น เซลลูโลสเป็นสายโพลีแซคคาไรด์ของนตาลน้ำตาล D-glucose เชื่อมต่อด้วยพันธะ β-1,4 glycosidic ซึ่งประกอบด้วยตัวกลูโคสมากกว่า 10,000 หน่วย ส่วนเฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิแซคคาไรด์ประกอบด้วย น้ำตาลหลายชนิดเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งโซ่สาขา ได้แก่ น้ำตาลเฮกโซส (กลูโคส กาแลคโตส และแมนโนส) น้ำตาลเพนโตส (ไซโลส และอะราบิโนส) และลิกนินเป็นสารอินทรีย์โพลีเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) มากกว่า 10,000 หน่วย และเป็น องค์ประกอบหลักของผนังในเซลล์ของพืช โดยทำหน้าที่ห่อหุ้ม เส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกันซึ่งทนต่อการย่อยสลายมาก ดังนั้นจึงควรที่จะต้องมีการปรับสภาพวัตถุดิบเหล่านี้ก่อน ที่จะนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เพื่อทำการลดหรือทำลายโครงสร้างที่แข็งของลิกโนเซลลูโลส ส่งผลให้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์สามารถเข้าถึงและย่อยได้ง่ายขึ้น เป็นวิธีที่จะช่วยทำให้โครงสร้างของหญ้าแตกสลายก่อนที่จะผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะช่วยให้การผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการปรับสภาพนั้นสามารถแบ่งออกเป็นการปรับสภาพด้วยสารเคมี (กรด-ด่าง) การปรับสภาพทางชีวภาพ การปรับสภาพด้วยความร้อน และการปรับสภาพร่วม ซึ่งการปรับสภาพทางเคมี (กรด-ด่าง) เป็นวิธีการปรับสภาพที่มีการสลายของโครงสร้างได้รวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับสภาพด้วยด่างที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 4 [4] ในการทำลายโครงสร้าง ก่อนนำหญ้าที่ผ่านการปรับสภาพแล้วนำไปทำการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพในลำดับต่อไป

ของเสียที่นิยมนำมาหมักร่วมกับเศษที่เหลือจากการทำการเกษตร คือ เศษอาหาร ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันเป็นอย่างมาก ประเทศไทยซึ่งมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปี มีรายงานว่าปริมาณขยะมูลฝอยกว่า 26.77 ล้านตัน ซึ่งในปริมาณนี้มีขยะอาหารมากถึงร้อยละ 45-70 ของขยะที่เกิดขึ้น [5] ซึ่งการกำจัดต้องต้องมีค่าใช้จ่ายสูง มีขั้นตอนและเกี่ยวข้องกับคนหลายฝ่าย ทั้งในแง่ของการมาตรฐานการกำจัด และการขออนุญาตให้ถูกต้อง การหาพื้นที่ที่เหมาะสม การเตรียมพื้นที่ การดูแล ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขยะและคนในชุมชนใกล้เคียง เป็นต้น ในส่วนการจัดการขยะของประเทศไทย รัฐบาลได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาขยะโดยใช้แนวคิด 3R คือ Reduce Reuse และ Recycle เพื่อเป็นกรอบและทิศทางการดำเนินการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะ หากเราจัดการกับของเสียไม่ถูกวิธี อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เป็นแหล่งเชื้อโรค ส่งกลิ่นเหม็น ทำลายทัศนียภาพ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เพราะขยะอินทรีย์จะปล่อยก๊าซมีเทนที่รุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 14 เท่า กองขยะที่มีปริมาณขยะอาหารมากจะยิ่งเป็นกองขยะที่ปล่อยมลพิษร้ายแรงที่สุด ดังนั้นการกำจัดของเสียหากใช้วิธีการที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เศษอาหารมีองค์ประกอบ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และยังมีความชื้นสูง เหมาะต่อการนำไปใช้ผลิตเป็นก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ การจัดการกับเศษอาหารด้วยระบบก๊าซชีวภาพ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ นอกจากจะลดปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นแล้ว เมื่อนำไปหมักร่วมกับหญ้าเนเปียร์ยังได้ก๊าซมีเทน โดยก๊าซมีเทนสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบหญ้าเนเปียร์ก่อนและหลังที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หมักร่วมกับเศษอาหาร ที่อัตราส่วน 25ต่อ75 [6-7] โดยศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพและเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของหญ้าเนเปียร์ โดยสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

2.1 อุปกรณ์และวัสดุหมัก

ถังหมักก๊าซชีวภาพทำจากอะคริลิคใสรูปทรงกระบอก ปริมาตร 1.5 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร สูง 240 มิลลิเมตร ฝาถังเจาะรูบนแผ่นอะครีริคเพื่อติดตั้งวาว์ล ได้แก่บอลวาล์วขนาด 4 หุนพร้อมชุดสายยางและเกจบาร์วัดแรงดัน ที่ตำแหน่งกลางฝาด้านบน โดยสายยางจะต่อเข้ากับขวดพลาสติกขนาด 0.6 ลิตร ท้ายขวดจะถูกตัดออก 2.5 เซนติเมตร (นับจากด้านล่าง) นำไปขีดเป็นเส้นวัดระดับ เพื่อใช้ในการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ส่วนขอบหน้าแปลนติดประกบประเกนยางสีดำ และเจาะรูขนาด 10 มิลลิเมตร จำนวน 6 รู พร้อมยึดน็อตโดยรอบเพื่อ

ป้องกันการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก ด้านล่างเป็นหน้าแปลนติดตายด้วยการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 1.5 ลิตร

วัสดุหมักที่ใช้ในการหมักจะประกอบไปด้วย 1) หญ้าเนเปียร์ สายพันธุ์ปากช่องหนึ่ง เป็นหญ้าสดที่ใช้หญ้าส่วนลำต้น และใบ 2) เศษอาหาร ที่ได้จากการรวบรวมจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยวัสดุหมักทั้งที่นำมาใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพจะมีอัตราส่วน 25 ต่อ75 โดยมีสัดส่วนดังนี้ หญ้าเนเปียร์ 2.25 กิโลกรัม เศษอาหาร 6.75 กิโลกรัมโดยน้ำหนัก และทำการผสมให้เข้ากัน ซึ่งวัสดุหมักที่ได้จะมีน้ำหนัก 0.9 กิโลกรัม

รูปที่ 2 หญ้าเนเปียร์ สายพันธุ์ปากช่องหนึ่ง

รูปที่ 3 เศษอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพหญ้าเนเปียร์โดยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หมักร่วมกับเศษอาหาร มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2.2.1 จัดทำชุดถังหมักก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 1 และก่อนทำการหมักก๊าซชีวภาพทำการตรวจสอบรอยรั่วในจุดต่าง ๆ โดยการใช้น้ำสบู่ทาในส่วนที่เป็นข้อต่อต่าง ๆ หรือในจุดอื่น ๆ ที่คาดว่าจะมีการรั่วซึม จากนั้นอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในขวดหมัก หากมีรอยรั่วฟองของน้ำสบู่ที่ทาไว้จะขยายตัว

2.2.2 รวบรวมวัสดุหมัก โดยเศษอาหารนำไปแยกส่วนที่เป็นกระดูกไม้จิ้มฟัน กระดาษชำระ และวัสดุอื่น ๆ ที่ย่อยสลายยากออกก่อน แล้วนำไปปั่นให้ละเอียด และใช้หญ้าส่วนลำต้น และใบ ที่ถูกบด ตัดแล้ว ให้มีขนาด 5 มิลลิเมตร นำมาตากแดด เป็นเวลา 3 วัน (เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา) แล้วจึงนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง

2.2.3 หญ้าเนเปียร์ที่ทำการปรับสภาพ สามารถปรับสภาพโดยชั่งหญ้า 100 กรัม และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามความเข้มข้น 4% ละลายในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้น ผสมหญ้ากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าด้วยกัน นำไปเข้าหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ตามเวลาที่กำหนด ที่ระยะเวลา 0.5 ชั่วโมง และ 1.0 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำการล้างหญ้าด้วยน้ำสะอาดจนมีค่าพีเอชเป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จนำหญ้ามาเก็บใส่ไว้ในถุงซิปล็อค

2.2.4 ก่อนทำการหมักหญ้าเนเปียร์ทั้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 w/v และไม่ผ่านการปรับสภาพ พร้อมกับเศษอาหาร ที่ผ่านการคัดแยกส่วนที่ย่อยสลายยากออก และปั่นอย่างละเอียดแล้ว นำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันตามอัตราส่วนหญ้าเนเปียร์ต่อเศษอาหาร 25ต่อ75 โดยใช้เป็นอัตราส่วนแบบน้ำหนัก ปรับพีเอชด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 7.5 ในกรณีที่วัสดุหมักที่คลุกเคล้าแล้ว มีค่าพีเอชที่ต่ำ กำหนดให้วัสดุหมักในแต่ละชุดมีน้ำหนักสุทธิที่ 900 กรัม ในการเติมวัสดุหมักจะเติมเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

2.2.5 ทำการทดลองหาค่าลิกโนเซลลูโลสก่อนเข้าระบบ โดยวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส (ด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI 203 om-88) และลิกนิน (ด้วยวิธีมาตรฐาน TAPPI 222 om-88) [8-9]

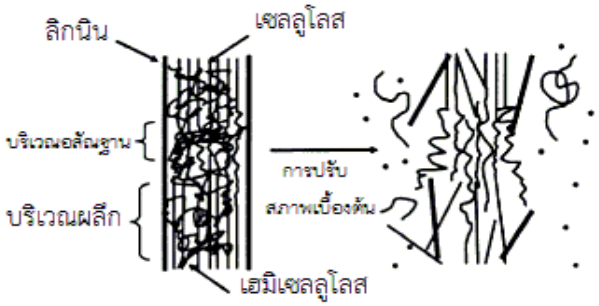
2.2.6 นำวัสดุหมักที่คลุกเคล้ากันแล้วตามอัตราส่วนต่าง ๆ ใส่ลงในถังหมักจำนวน 2 ชุด ได้แก่ ถังหมักที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และถังหมักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการหมักขนานคู่กันไปเป็นระยะเวลา 45 วัน ในทุก ๆ 3 วันของการหมักจะทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซสะสม, อุณหภูมิ, และความเป็นกรด-ด่าง (pH)

3. ผลการทดลอง

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ก่อนและหลังการปรับสภาพ

เนื่องจากหญ้าเนเปียร์เป็นกลุ่มลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิดคือ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ดังรูปที่ 4 โดยเฉพาะลิกนิน ซึ่ง

ย่อยสลายได้ยาก เนื่องจากลิกนินเป็นสารอินทรีย์โพลีเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) และเป็นองค์ประกอบหลักของผนังในเซลล์ของพืช ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มปกป้องเส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกันซึ่งมีความคงทนต่อการย่อยสลายมาก ส่งผลให้เป็นตัวขัดขวางการเข้าไปย่อยสลายของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นในการหมักเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ จึงทำการแช่ปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ที่ระยะเวลา 0.5 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง [3] ดังแสดงผลการทดลองตารางที่ 1



รูปที่ 4 แผนภาพจุดประสงค์การปรับสภาพเบื้องต้นของวัสดุลิกโนเซลลูโลส [10]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ก่อนและหลังการปรับสภาพ

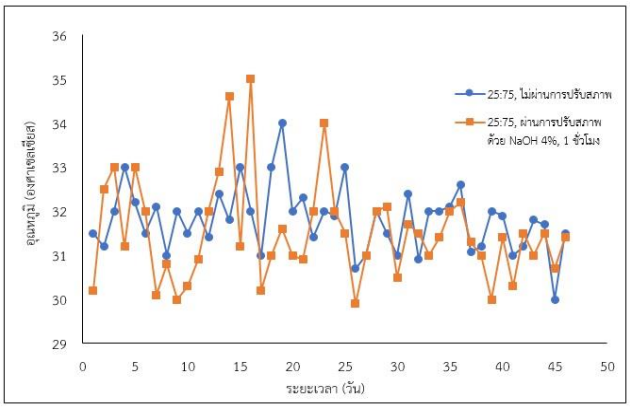
การปรับสภาพ เวลา- ร้อยละความเข้มข้น	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)			
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	อื่นๆ
ไม่ผ่านการปรับสภาพ	36.21	6.64	15.66	41.49
0.5 ชั่วโมง , 4 %	40.15	2.70	9.38	47.77
1.0 ชั่วโมง , 4 %	40.59	2.27	7.61	49.53

จากตารางที่ 1 พบว่าก่อนการปรับสภาพองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ ซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลสเท่ากับร้อยละ 36.21 เฮมิเซลลูโลสเท่ากับร้อยละ 6.64 และมีปริมาณลิกนินเท่ากับร้อยละ 15.66 อื่นๆ ได้แก่ เถ้า สารแทรกต่างๆ [11] เท่ากับร้อยละ 41.49 ซึ่งเมื่อ ทำการปรับสภาพหญ้าด้วยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 และระยะเวลาที่ต่างกัน คือ 0.5 ชั่วโมง และ 1.0 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะของการทดลองปรับสภาพในสภาวะต่าง ๆ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลสเท่ากับร้อยละ 3.94 และ 4.38 ตามลำดับ และพบว่าปริมาณของเฮมิเซลลูโลส และลิกนินลดลงในทุกสภาวะของการทดลอง โดยเฮมิเซลลูโลสมีอัตราการลดลงเท่ากับร้อยละ 3.94 และ 4.37 ลิกนินเท่ากับร้อยละ 6.28 และ 8.05 ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพหญ้าเนเปียร์ด้วยวิธีโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำลายพันธะของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และลดความเป็นพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ลงได้ ส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น [12] โดยการปรับสภาพเบื้องต้นนี้ทำให้โครงสร้างลิกโนเซลลูโลสอ่อนแอลง และเป็นการทำลายโครงสร้างของผลึก ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวที่เอนไซม์ในจุลินทรีย์สามารถเข้าถึงได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์กลุ่ม methanogen ให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพได้ง่ายและมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ [2] ดังนั้นจึงเลือกใช้หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการแช่ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 w/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในกระบวนการหมักร่วมกับเศษอาหารเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากสามารถสลายพันธะของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้สูงสุด โดยสามารถสลายได้ถึงร้อยละ 65.81 และร้อยละ 51.14 ตามลำดับ

3.2 ผลการวิเคราะห์หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพหมักร่วมกับเศษอาหาร

3.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เพราะการเติบโตของจุลินทรีย์ก่อให้เกิดความร้อนจากการเผาผลาญปริมาณมาก และยังเป็นการบ่งชี้ถึงการย่อยสลายวัตถุดิบโดยจุลินทรีย์ ทำให้อุณหภูมิเป็นตัวชี้วัดอีกตัวหนึ่งที่แสดงถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในระบบด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 5

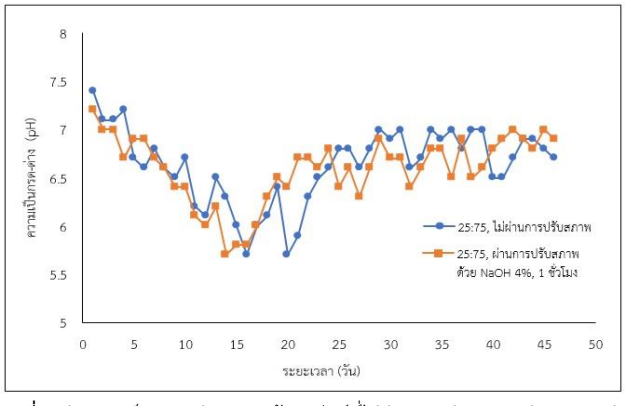


รูปที่ 5 อุณหภูมิของหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพหมักร่วมกับเศษอาหาร

โดยพบว่าอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการหมักมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่คงที่ โดยในแต่ละถังหมักมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละถังนั้นมีความใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส มาซึ่งในกระบวนการหมักและปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นกับการเติบโตของจุลินทรีย์ภายในระบบ จึงต้องให้ความสนใจที่อุณหภูมิ เพราะอาจทำให้เซลล์จุลินทรีย์สามารถตายได้ โดยทั้งสองชุดการทดลองนั้นเป็นอุณหภูมิช่วงเมโซฟิลิก คือ ทำงานในช่วงประมาณ 20 – 45 องศาเซลเซียส ทำให้แบคทีเรียกลุ่มมีโซฟิลิกเป็นกลุ่มหลักที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ การทำงานของแบคทีเรียจะต้องอยู่ในช่วง มีโซฟิลิก ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จุลชีพทำงานภายใต้ออกซิเจนต่ำจะทำงานได้ดี โดยแบคทีเรียจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพ [13]

3.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

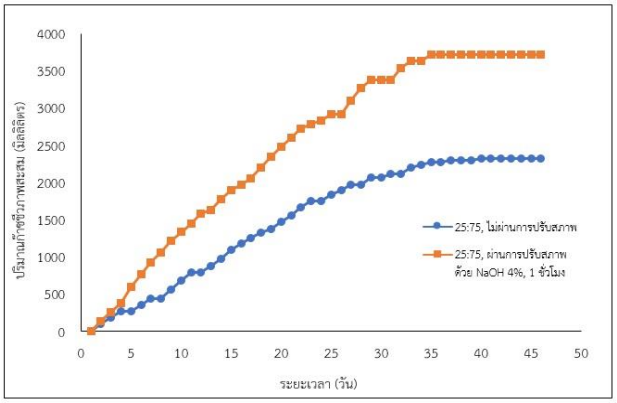
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการหมักแบบไร้อากาศ โดยการเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมต่างๆ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในพีเอชของวัสดุหมัก ซึ่งระบบจะสามารถทำงานได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.6-7.6 และที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ คือระหว่างในช่วง 7.0-7.2 [14] ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น ควรควบคุมไว้ที่ประมาณ 7.2-7.4 ซึ่งสูงกว่าความต้องการภายในระบบเล็กน้อย เนื่องจากในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น จุลินทรีย์จะมีกระบวนการสร้างกรด (Acidogemesis) ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ภายในระบบลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5.0 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและการหมักทั้งหมด หรือก็คือจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียตาย แบคทีเรียที่สร้างมีเทนนั้นอ่อนไหวมากต่อความเป็นกรดเป็นด่าง จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าถังหมักทั้งสองชุด ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการลดลงในช่วงแรก โดยพบว่าถังหมักหญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพหมักร่วมกับเศษอาหาร มีการลดลงและปรับเพิ่มขึ้นของพีเอชได้ดีกว่า เกิดจากการที่เอนไซม์ในจุลินทรีย์สามารถเข้าถึงได้ง่ายต่อการย่อยสลายวัสดุลิกโนเซลลูโลส โดยสาเหตุการลดลงของพีเอชในระบบช่วงแรก เนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันอยู่ในรูปที่ไม่ซับซ้อนและสามารถละลายได้ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิ และกรดไขมัน และกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) โดยผลผลิตหลักในปฏิกิริยานี้คือ คือ กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทิริก(Butyric acid) และสารตั้งต้นโดยตรงของมีเทน (Direct methane precursors) ได้แก่ กรดอะซีติก (Acetic acid) และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งส่งผลให้พีเอชภายในระบบช่วงแรกนั้นมีการลดลง เพราะเกิดกรดชนิดต่างๆภายในระบบขึ้น และหลังจากนั้น ในช่วงท้ายกระบวนการหมัก ประมาณตั้งแต่ช่วงวันที่ 20 มีการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายแอมโมเนียออกมาหรือเอมีน จึงส่งผลทำให้ค่า pH ในระบบเพิ่มขึ้น [11]



รูปที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพหมักร่วมกับเศษอาหาร

3.2.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ผลิตได้จากการหมักหญ้าเนเปียร์ร่วมกับเศษอาหารด้วยอัตราส่วน 25ต่อ75 โดยพบว่าหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 2,330 มิลลิลิตร ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 3,720 มิลลิลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ สูงถึงร้อยละ 37.37 ซึ่งด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายและผลิตก๊าซชีวภาพได้ดียิ่งขึ้น [3] ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพหมักร่วมกับเศษอาหาร

4. บทสรุป

จากการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพหญ้าเนเปียร์โดยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์หมักร่วมกับเศษอาหาร พบว่าหญ้าเนเปียร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพหมักร่วมกับเศษอาหาร มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 2,330 มิลลิลิตร และเมื่อหญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง หมักร่วมกับเศษอาหาร มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 3,720 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 37.37 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดียิ่ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายชีวมวล ช่วยในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ทำให้ประสิทธิภาพลดลง เพิ่มการเข้าถึงพื้นที่ผิวของจุลินทรีย์ อีกทั้งกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นกระบวนการที่ง่ายไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถเลือกใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้ให้โอกาสและให้ทุนสนับสนุนงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัย ทุนนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2562 ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :http://webkc.dede.go.th/testmax/node/149. (20 เมษายน 2563)

[2] นิลวรรณ ไชยทนุ, ร่มไทร มุกเมืองทอง, วรุฒ ชมเจริญ และ อนุพันธ์ วรรณภิระ (2559). ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของหญ้าเนเปียร์พันธุ์แคระภายใต้การปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายด่าง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ล้านนา*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 32-36.

[3] สุภาวดี ผลประเสริฐ (2557). การปรับสภาพวัตุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 5, หน้า 641-649.

[4] เดชา โฉมงามดี, รัตนชัย ไฟรินทร์ และ เก้ากันยา สุดประเสริฐ (2558). การปรับสภาพฟางข้าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอัตราการเกิดแก๊สมีเทน. *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2*, เพชรบูรณ์, 14 กุมภาพันธ์ 2558, หน้า 237-241.

[5] วรรณกุล บำรุงสาลี (2554). ถังหมักขยะเศษอาหารจากครัวเรือน. มีเทน. *การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2*1, สงขลา, 10-11 พฤศจิกายน 2554, หน้า 1-5.

[6] อัจฉราวดี ขาวโสม, เฉลิมชัย สังข์สุวรรณ์ และ ศักดา คงจันทร์ (2561). *การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างหญ้าเนเปียร์กับเศษอาหารในการผลิตก๊าซชีวภาพ*. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ประเทศไทย.

[7] Owamah H.I. and Izinyon O.C., (2015). Optimal combination of food waste and maize husk for enhancement of biogas production: Experimental and modelling study. *Environmental Technology & Innovation*, 4, pp. 311-315.

[8] TAPPI 203 om-88, (1988). Test Method for Determination of Alpha, Beta and Gamma Cellulose in Pulp. Technical Association of Pulp and paper industry, Atlanta, USA.

[9] TAPPI 222 om-88, (1988). Test Method for Determination of Acid-Insoluble lignin in Pulp. Technical Association of Pulp and paper industry, Atlanta, USA.

[10] Balat M., (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway : A review. Energy Conversion and Management, 52, pp. 858-875.

[11] ปุณณวิทย์ หาญไพบูลย์, สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และ เรืองวิทย์ สว่างแก้ว (2559). การปรับสภาพเบื้องต้นแบบต่อเนื่องของฟางข้าวและกากมันสำปะหลังด้วยน้ำภาวะใต้วิกฤต. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, หน้า 44-55.

[12] นันทิกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และ อนุสิษฐ์ ธนะพิมพ์เมธา (2554). การผลิตน้ำตาลรีดิวส์จากซางข้าวฟางหวานโดยกระบวนการไฮโดรลิซิสด้วยกรด. *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 75, หน้า 91-102.

[13] อัจฉรา พิเลิศ, รัตนชัย ไพรินทร์, โกวิท ยอดมงคล, ธีระธนธร นนทะภา, ภัทราวดี ศรีปัญญา และ กาญจนา สุริยนต์ (2555). ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผลิตแก๊ซชีวภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 43, ฉบับที่ 2, หน้า 57-60.

[14] ทวินันท์ สเลอาด (2554). *ผลของเวลาการกวนและการเวียนตะกอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยระบบหมักไร้อากาศแบบแห้งในขนาดใช้งานจริง*. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย.