

การเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายแบบไร้อากาศเพื่อผลิตมีเทน จากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

IMPROVEMENT OF DIGESTIBILITY OF METHANE PRODUCTION FROM OIL PALM FIBER BY HYDROTHERMAL PRETREATMENT

พลากร บุญใส¹ บุญญา ชาญนอก² และสุชีวรรณ ยอยรู้รอบ^{3*}

Palakorn Boonsai¹, Boonya Charnnok² and Sucheeewan Yoyrurub^{3*}

บทคัดย่อ

เส้นใยปาล์มเป็นชีวมวลลิกโนเซลลูโลสที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีลิกนินเป็นองค์ประกอบทำให้ย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ยาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 100-200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตก๊าซมีเทน คือ 140°C เนื่องจากมีปริมาณ pseudo lignin เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 29.07) และยังคงมีเฮมิเซลลูโลสที่ถูกไฮโดรไลซ์ตกค้างอยู่ (ร้อยละ 13.56) ที่สภาวะดังกล่าวมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด เท่ากับ 101.45 ± 3.18 LCH₄/kg VS ซึ่งสูงกว่าผลผลิตก๊าซมีเทนจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ คิดเป็นร้อยละ 43.89 ดังนั้น การปรับสภาพเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตก๊าซมีเทนสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิต่ำ

คำสำคัญ: มีเทน การปรับสภาพด้วยน้ำร้อน การหมักแบบกะ เส้นใยปาล์ม

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

¹Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung Campus, Paphayom District, Phatthalung Province 93210

²บัณฑิตวิทยาลัยสหวิทยาการระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

²Interdisciplinary Graduate School of Energy Systems, Prince of Songkla University, Hat Yai District, Songkhla Province 90110

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

³Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang District, Songkhla Province 90000

*corresponding author e-mail: sucheeewan.yo@skru.ac.th

Received: 15 May 2020; Revised: 12 July 2020; Accepted: 15 July 2020

Abstract

This research aimed to study the effect of temperature (100-200°C for 1 hrs) in hydrothermal pretreatment on the potential of methane production from oil palm fiber. The results showed that the optimum temperature in hydrothermal pretreatment to enhance the potential methane from the palm fiber was 140°C due to small content of pseudo lignin formation (29.07%) and remaining hydrolyzed form of hemicellulose (13.56%). This pretreatment temperature provided the highest potential methane of 101.45 ± 3.18 LCH₄/kgVS which accounted by 43.89% higher than that of untreated palm fiber. Thus, the conversion of the oil palm fiber to biofuel as methane with low temperature hydrothermal pretreatment was suggested.

Keywords: Methane, Hydrothermal pretreatment, Batch digestion, Oil palm fiber

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ดังนั้น จึงมีความสำคัญในการจัดการทางด้านพลังงานเพื่อให้มีพลังงานใช้อย่างเพียงพอ เมื่อความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่แหล่งพลังงานกลับลดลงและมีปริมาณจำกัด จึงมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตและประสบปัญหาวิกฤตการณ์พลังงาน เมื่อราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกได้เพิ่มสูงขึ้นทำให้กลุ่มประเทศต่าง ๆ ต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีต้นทุนการผลิตต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 โดยมีเป้าหมายจะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเท่ากับร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2579 มีเป้าหมายที่จะผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพประมาณ 600 เมกะวัตต์ (Ministry of energy, 2015) ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทางเลือกทดแทนที่สำคัญแหล่งหนึ่งซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียและอาร์เคียที่ไม่อาศัยออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในขณะเกิดการย่อยสลาย ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH₄) ร้อยละ 50-60 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ร้อยละ 25-35 ที่เหลือเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H₂) ก๊าซไนโตรเจน (N₂) และก๊าซอื่น ๆ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2011) ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้ จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ประโยชน์ทางด้านพลังงานจากก๊าซชีวภาพแล้วยังได้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ ช่วยลดปริมาณมูลฝอยอีกด้วย

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันที่สำคัญของประเทศอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ เช่น กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสตูล เป็นต้น อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันได้พัฒนาและกระจายไปหลายจังหวัดในพื้นที่ภาคใต้ อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อ

ใช้ที่เป็นมวลชีวภาพประเภทลิกโนเซลลูโลสจำนวนมาก เช่น ทะลายปาล์มเปล่า ร้อยละ 24 เส้นใยปาล์ม ร้อยละ 14 กะลาปาล์ม ร้อยละ 6 (Chavalparit et al., 2006) เส้นใยปาล์มเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกชั้นนอกที่ล้อมรอบกะลาปาล์มไว้ด้านในมีสีเหลืองอมแดงชุ่มด้วยน้ำมันนำไปสกัดเป็นน้ำมันดิบออกมาจนหมดแล้ว ลักษณะเป็นเส้นฝอย หรือขุยเล็ก ๆ โดยปกติในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้เส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลายปาล์ม และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน อย่างไรก็ตาม ในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีชีวมวลที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์สูงถึงร้อยละ 80 (Wattanasit et al., 2013) โรงงานส่วนใหญ่นำไปกองทิ้งในพื้นที่สวนปาล์มเพื่อรอการย่อยสลาย เกิดการปลดปล่อยมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศในกรณีที่ย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ การนำเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์จึงเป็นอีกแนวทางลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

เส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ร้อยละ 39.1 ± 0.8 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 22 ± 1.2 และลิกนิน ร้อยละ 23 ± 0.7 (O-thong et al., 2012) เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ หากนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก แต่การที่จะนำเส้นใยปาล์มมาผลิตก๊าซชีวภาพมักจะมีปัญหาในการย่อยสลาย เนื่องจากลิกนินที่เคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จึงเป็นเหมือนผนังที่ป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ ดังภาพที่ 1 (Figure 1) ดังนั้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพเส้นใยปาล์มก่อนการหมักก๊าซชีวภาพ

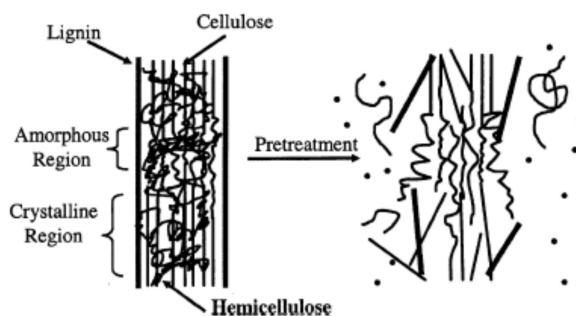


Figure 1 Structure, Chemical composition and Pretreatment of Lignocellulosic Materials (Lee et al., 2008)

การปรับสภาพด้วยน้ำร้อนเป็นวิธีการที่มีแนวโน้มประหยัดต้นทุน เนื่องจากไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยาและค่าก่อสร้างถึงปฏิกิริยาไม่สูงมากนักเพราะเกิดการกักความร้อนต่ำ การปรับสภาพด้วยน้ำร้อนสามารถใช้ความร้อนจากไอน้ำสูญเสียจาก boiler ในกระบวนการผลิตไอน้ำของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นแหล่งความร้อนสำหรับกระบวนการปรับสภาพได้ นอกจากนี้ สารอินทรีย์ที่สลายตัวจากเส้นใยปาล์มและละลายในของเหลวระหว่างการปรับสภาพ ควรได้มีการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ เช่น เป็นวัตถุดิบผลิตก๊าซชีวภาพ (Charnnok et al., 2020) เป็นต้น เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าของการใช้ทรัพยากรในการ

พึ่งพาตนเองของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนโดยผ่านการปรับปรุงสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำลายโครงสร้างชีวมวลในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพ และ 2) เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงสภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์

1.1 เส้นใยปาล์ม นำมาผึ่งแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนึ่งร้อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร เพื่อเลือกเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร นำไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 45 °C 24 ชั่วโมง นำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่

1.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ได้จากโรงงานปาล์ม น้ำมัน บริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด จังหวัดสตูล ใส่ถังปิดฝา 24 ชั่วโมง เมื่อเกิดการแยกชั้น รินเอาส่วนน้ำใสทิ้ง เหลือไว้แต่ตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์ ดำเนินการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากนั้นเก็บหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องและปราศจากแสง

1.3 Stock solution ประกอบด้วย NH_4Cl 1.4 กรัม/ลิตร K_2HPO_4 1.25 กรัม/ลิตร $\text{MgSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0.5 กรัม/ลิตร $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.05 กรัม/ลิตร yeast extract 0.5 กรัม/ลิตร trace element solution 5 มิลลิลิตร/ลิตร

1.4 Buffer Solution ประกอบด้วย NaHCO_3 50 กรัม/ลิตร

2. วิธีการวิจัย

2.1 วิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS) ของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids: VS) ในเส้นใยปาล์มและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยวิธี Gravimetric method ตามวิธีของ National Renewable Energy Laboratory (NREL) (Sluiter et al., 2008a) วิเคราะห์เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ในเส้นใยปาล์มทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงสภาพ ตามวิธีของ National Renewable Energy Laboratory (NREL) (Sluiter et al., 2008b) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมด้วย UV-Vis spectrophotometer, Merck Ltd., Spectroquant® Pharo 100 model ที่ความยาวคลื่น 760 nm (Blainski et al., 2013)

2.2 ศึกษาอุณหภูมิในการปรับปรุงสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน โดยเลือกใช้ อุณหภูมิ 100 °C 120 °C 140 °C 160 °C 180 °C และ 200 °C ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Oil Bath ใช้ระยะเวลาในการปรับปรุงสภาพ 1 ชั่วโมง

2.3 การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพโดยการหมักก๊าซชีวภาพในอัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพแล้ว 3:1 gVS/gVS ควบคุมอุณหภูมิในการหมัก $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$ โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 ชั่งน้ำหนักเส้นใยปาล์มใส่ลงในขวดหมัก ขนาด 120 มิลลิลิตร โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ 1.5 gVS และเส้นใยปาล์ม 0.5 gVS เติม Buffer Solution 6.0 มิลลิลิตร และ Stock Solution 0.6 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน (Deionized water: DI) จนส่วนผสมวัสดุหมักมีปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2 ด้วย 10% HCL รายละเอียดวัสดุหมักและขวดหมักแสดงในภาพที่ 2 (Figure 2)

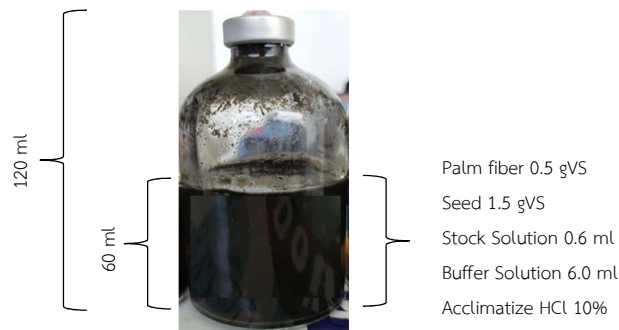


Figure 2 Details of fermentation materials and sealed batch reaction vessels

2.3.2 ปิดฝาขวด ต่อเข็ม และทรีเวย์ จากนั้นนำขวดหมักเข้าตู้บ่มเพาะเชื้อที่ $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เมื่อครบ 24 ชั่วโมง วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ และเขย่าขวดหมักเป็นเวลา 1 นาที 3 ครั้ง/วัน (9.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น.) เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ได้สัมผัสกับผิววัสดุหมักมากยิ่งขึ้น ลักษณะขวดหมักก๊าซชีวภาพแสดงในภาพที่ 3 (Figure 3)



Figure 3 Sealed batch reaction vessels

2.4 การวัดปริมาณก๊าซ หลังหมักครบ 24 ชั่วโมง โดยใช้ Glass Syringe และวิเคราะห์ปริมาณ CH_4 โดยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (GC) Shimadzu Model GC-14 คอลัมน์ WG-100 เส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ มิลลิเมตร ความยาว 1.8 เมตร Detector แบบ Thermal Conductivity Detector (TCD) อุณหภูมิ Column oven , Injection port, Detector port $60^\circ C$ ก๊าซมาตรฐานที่ใช้คือก๊าซผสม มีเทน 60% ไนโตรเจน 5% คาร์บอนไดออกไซด์ 35% โดยผลผลิตของมีเทนสามารถคำนวณได้ดังนี้ (Charnnok et al., 2020)

$$CH_4 \text{ yield (L/kgVS)} = \frac{\text{Volume of } CH_4 \text{ substrate} - \text{Volume of } CH_4 \text{ blank}}{\text{mass of VS}_{\text{substrate}}}$$

ผลการวิจัย

ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย

การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ $180^\circ C$ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยง่ายสูงสุด โดยมีปริมาณร้อยละ 97.68 ± 0.81 และ 90.69 ± 0.65 ตามลำดับ โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่อุณหภูมิต่ำกว่า ไม่มีความแตกต่างจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณของแข็งระเหยง่าย ในเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีความแตกต่างจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 1 (Table 1) นั้นแสดงว่าการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่อุณหภูมิต่าง ๆ แทบไม่มีการสูญเสียสารอินทรีย์ในเส้นใยปาล์ม

Table 1 Total solids and volatile solids of palm fibers

Condition	TS (%)	VS (%)
Untreated palm fiber	99.99 ± 3.21^c	90.93 ± 6.09^d
Pretreatment		
100 °C	94.87 ± 0.47^{ab}	89.59 ± 2.58^d
120 °C	92.87 ± 1.73^a	87.75 ± 0.86^d
140 °C	95.74 ± 0.86^{ab}	90.05 ± 1.92^d
160 °C	94.29 ± 2.00^{ab}	90.30 ± 1.35^d
180 °C	97.68 ± 0.81^{bc}	90.69 ± 0.65^d
200 °C	95.66 ± 2.47^{ab}	89.42 ± 0.49^d

Remark Significantly different ($p < 0.05$)

เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยปาล์ม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์ม ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ก่อนการปรับสภาพมีปริมาณร้อยละ 13.67 ± 0.25 , 12.95 ± 1.46 และ 29.07 ± 2.12 ตามลำดับ

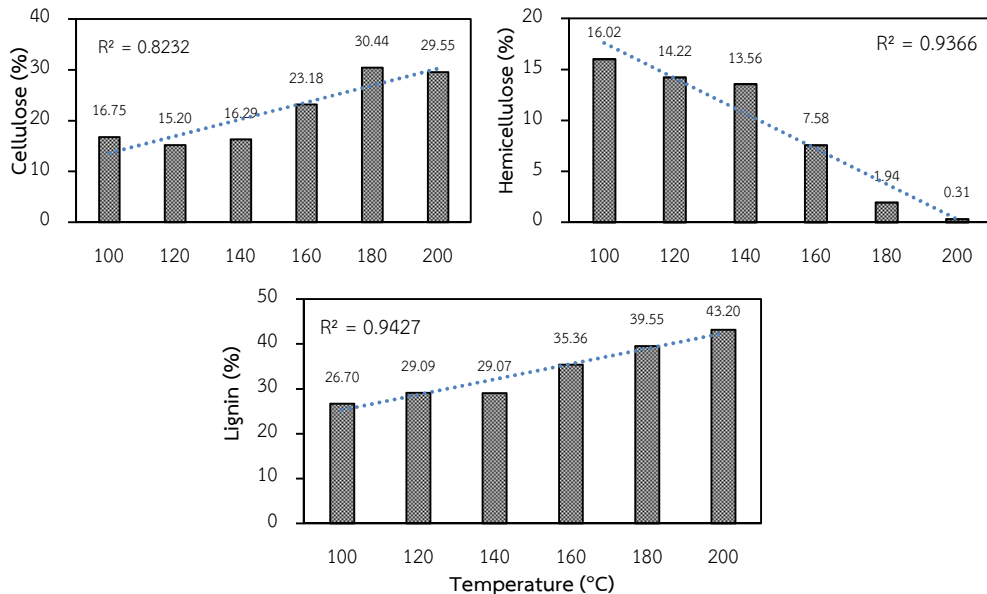


Figure 4 Cellulose, hemicellulose and lignin content in pretreated oil palm at various pretreatment temperatures

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้น ปริมาณเซลลูโลสมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4 (Figure 4) ในขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างที่สั้น และไม่มีลักษณะเป็นผลึกแบบเซลลูโลส จึงถูกทำลายได้ง่ายในระหว่างการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดไปเกือบหมดที่อุณหภูมิ 200°C

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของลิกนิน พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณลิกนินมีแนวโน้มสูงขึ้น การปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่อุณหภูมิ 160°C มีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบปริมาณลิกนินในเส้นใยปาล์มสูงสุดที่อุณหภูมิ 200°C (ร้อยละ 43.20)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมในเส้นใยปาล์ม

สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่เกิดจากการแตกตัวของลิกนินในเส้นใยปาล์ม เมื่อดำเนินการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม และทำการกรองตัวอย่างเพื่อแยกส่วนของเหลวมาทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลในของเหลว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมที่อยู่ในของเหลวเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 5 (Figure 5) โดยพบสารประกอบฟีนอล

รวมสูงสุดเมื่อปรับสภาพที่อุณหภูมิ 200°C (1.98 ± 0.16 g/L) และพบปริมาณน้อยที่สุดเมื่อปรับสภาพที่อุณหภูมิ 100°C (0.23 ± 0.02 g/L) แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นลิกนินถูกแยกออกจากเส้นใยปาล์มสูงขึ้นด้วย

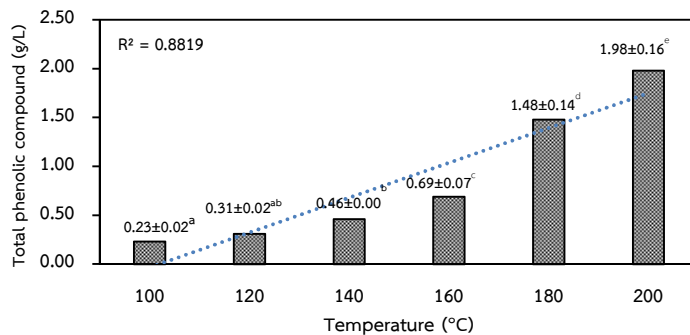


Figure 5 Total phenolic compound after pretreatment at various temperatures

ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษา พบว่าเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 140°C ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 101.45 ± 3.18 LCH₄/kgVS ซึ่งแตกต่างจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาได้แก่ เส้นใยที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 120°C 160°C 100°C และ 180°C ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลผลิตก๊าซมีเทนสะสมตามระยะเวลาหมักแสดงดังภาพที่ 6 (Figure 6) เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนต่ำที่สุด มีผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 74.60 ± 3.66 LCH₄/kgVS ในขณะที่เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะให้ผลผลิตก๊าซมีเทน 56.93 ± 15.56 LCH₄/kgVS ซึ่งมีความแตกต่างจากเส้นใยที่ปรับสภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมแสดงในภาพที่ 7 (Figure 7) เมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170°C, 190°C และ 210°C (Sibmong & Hamwang, 2018) พบว่า มีผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 69.66 ± 2.32 , 75.09 ± 2.63 และ 77.64 ± 3.29 L CH₄/kg VS ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลผลิตก๊าซมีเทนไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

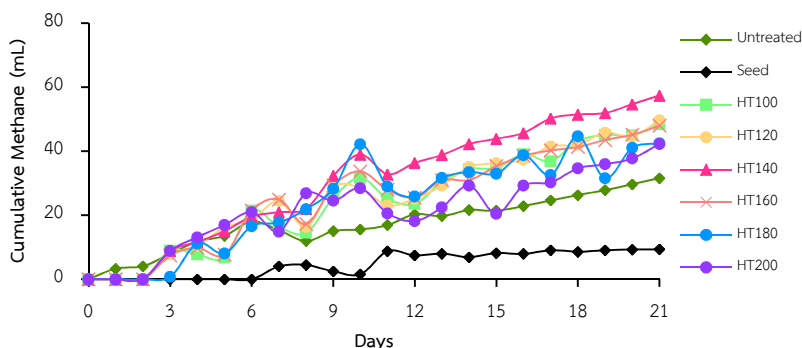


Figure 6 Cumulative methane after pretreatment at various temperatures

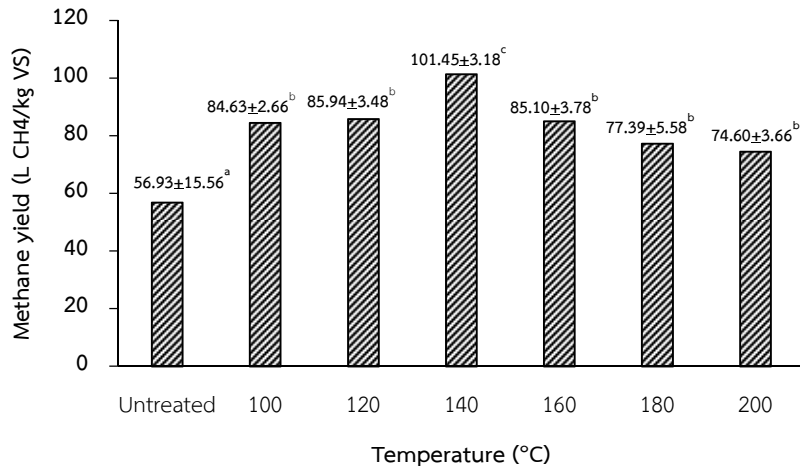


Figure 7 Methane yield after pretreatment at various temperatures (21 days)

อภิปรายผล

การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีผลต่อการแยกลิกนินออกจากเส้นใยปาล์ม โดยจะเห็นได้จากปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมที่พบในของเหลวที่ได้จากการปรับสภาพสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้น ดังภาพที่ 5 (Figure 5) แต่ในขณะเดียวกันเมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้นปริมาณลิกนินมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเอมิเซลลูโลสที่ละลายในของเหลวเกิด Repolymerization เป็น pseudo lignin บนชีวมวล ซึ่งสามารถพบได้ที่อุณหภูมิ 170°C ที่เวลา 150 นาที (Ma et al., 2015) สำหรับงานวิจัยนี้พบปริมาณลิกนินเริ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิตั้งแต่ 160°C เป็นต้นไป จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณเอมิเซลลูโลสลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8 (Figure 8)

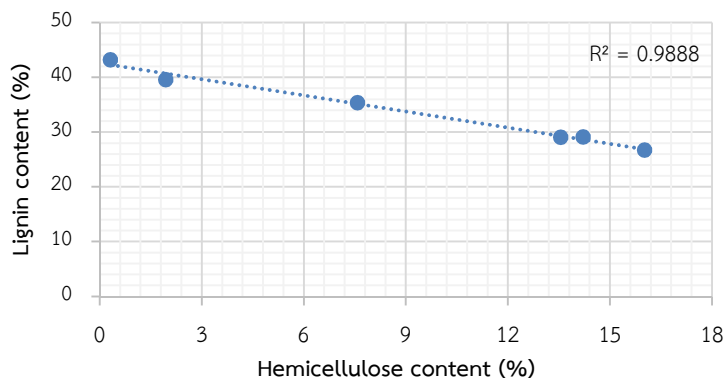


Figure 8 Correlation of hemicellulose and lignin content during hydrothermal pretreatment

การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้นผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 140°C มีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเริ่มมีผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลงเมื่อมีอุณหภูมิ 160°C ขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณลิกนินที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 160°C ขึ้นไป โดยอุณหภูมิในการปรับสภาพ 200°C พบปริมาณลิกนินสูงสุด ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ต่ำที่สุด เนื่องจากลิกนินเป็นเหมือนผนังที่ป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ การปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจึงไม่ได้เป็นการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพแต่อย่างใด อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตก๊าซมีเทน คือ 140°C เนื่องจากมีปริมาณ pseudo lignin เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 29.07)

นอกจากนี้ การปรับสภาพด้วยน้ำร้อนกระตุ้นการทำลายโครงสร้างเฮมิเซลลูโลส ให้อยู่ในรูป Hydrolysible form ดังนั้น การมีเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับผลิตมีเทนตกค้างในเส้นใยปาล์มหลังการปรับสภาพเล็กน้อย จึงมีส่วนทำให้ได้ผลผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งควรมีการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยปาล์มก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) เพิ่มเติมในการศึกษาครั้งต่อไป

สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม คือ 140°C มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด เท่ากับ $101.45 \pm 3.18 \text{ LCH}_4/\text{kgVS}$ แตกต่างจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้นปริมาณลิกนินมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสที่ละลายในของเหลวเกิด Repolymerization เป็น pseudo lignin บนชีวมวล ส่งผลให้ผลผลิตก๊าซมีเทนลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปี 2561 ขอขอบคุณโรงงานปาล์มน้ำมัน บริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด ตำบลอุโดเจริญ อำเภอกวนกาหลง จังหวัดสตูล ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยปาล์มและหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Blainski A, Lopes GC, De Mello JCP. Application and Analysis of the Folin Ciocalteu Method for the Determination of the Total Phenolic Content from *Limonium Brasiliense* L., *Molecules*. 2013; 18: 6852-6865.
- Charnnok B, Sawangkeaw R, Chaiprapat S. Integrated process for the production of fermentable sugar and methane from rubber wood, *Bioresource Technology*. 2020; 302: 122785.
- Chavalparit O, Rulkens WH, Mol APJ. et al. Option for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial, *Environment, Development and Sustainability*. 2006; 8: 271-287.
- Dechruga S, Kantachote D, Chaiprapat S. Effect of inoculum to substrate ratio, substrate mix ratio and inoculum source on batch co-digestion of grass and pig manure, *Bioresource Technology*. 2013; 146: 101-108.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. *Guide to development and investment in alternative energy production, 5th Series: Biogas Energy*. 2011. Available at: https://www.dede.go.th/article_attach/h_biogas.pdf. Accessed March 15, 2020.
- Lee JS, Parameswaran B, Lee JP. et al. Recent developments of key technologies on cellulosic ethanol production, *Journal of Scientific & Industrial Research*. 2008; 67: 865-873.
- Ma XJ, Yang XF, Zheng X, et al. Toward a further understanding of hydrothermally pretreated holocellulose and isolated pseudo lignin, *Cellulose*. 2015; 22 (3): 1687-1696.
- Ministry of energy. *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015*. 2015. Available at: <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf>. Accessed March 3, 2020.
- O-thong S, Boe K, Angelidaki I. Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas, *Applied Energy*. 2012; 93: 648-654.
- Sibmong K, Hamwang A. *The study of optimum temperature for biogas production from palm fiber by pretreatment with hot water*. Research report, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University; 2018.
- Sluiter A, Hames B, Hyman D. et al. 2008a. *Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Sluiter A, Hames B, Ruiz R. et al. 2008b. *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Wattanasit K, Asawatretatanakul K, O-thong S. Potential of biogas production of oil palm mill residues and its anaerobic co-digestion under thermophilic condition, *Thaksin University Journal*, 2013; 16(3): 48-58.