

การปรับปรุงกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงาน  
สกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอนภายใต้

สภาวะอุณหภูมิสูง

Enhancement of hydrogen and methane production from palm oil mill  
effluent by two-stage anaerobic digestion

ชลธิชา มามิมิน (Chonticha Mamimmin)\*

สมพงษ์ โอทอง (Sompong O-Thong)\*\*

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm oil mill effluent, POME) มีปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยมีค่า COD สูงถึง 85.5 gCOD/l จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตไฮโดรเจน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการหมักแบบไร้แสง (dark fermentation) ทำการทดลองโดยมีการแปรผันปริมาณสารอินทรีย์ที่ 20 40 และ 60 g/l ให้ศึกษาศักยภาพการผลิตไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 130-200 ml H<sub>2</sub>/g COD เมื่อสิ้นสุดการหมักกรดแลคติก กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิกที่ความเข้มข้น 3.95 2.13 0.25 1.5 และ 0.99 g/l ตามลำดับ เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิตไฮโดรเจน ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานอย่างเช่น มีเทน ผ่านกระบวนการเมทาโนจีเนซิส (methanogenesis) โดยจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (methanogens) ภายใต้สภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศได้ ผลได้มีเทนจากน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิตไฮโดรเจนที่ปริมาณสารอินทรีย์ 11.8 17.7 23.6 และ 29.5 gVS/l (คิดเป็นกรดไขมันระเหยได้เริ่มต้น 0.9 1.8 3.6 และ 4.7 g/l ตามลำดับ) เท่ากับ 510 467 428 และ 401 ml CH<sub>4</sub>/g VS เพื่อศึกษาผลของกรดไขมันระเหยได้ในน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิตไฮโดรเจนต่อการผลิตมีเทนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง พื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) ถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า กรดอะซิติกและกรดบิวทีริกที่ความเข้มข้นสูง (8 g/l) ยับยั้งกระบวนการผลิตมีเทน และเกิดการยับยั้งการผลิตมีเทนอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) เมื่อมีการเติมกรดแลคติกและกรดโพรพิโอนิก สภาวะเหมาะสมสำหรับการผลิตมีเทน คือ กรดแลคติก 2.88 g/l กรดอะซิติก 5.01 g/l กรดบิวทีริก 0.44 g/l และกรดโพรพิโอนิก 5.55 g/l โดยให้ผลได้มีเทนสูงสุดที่ 447 ml CH<sub>4</sub>/gVS ความ

\* ดุษฎีบัณฑิต หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ

\*\* อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

เข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยได้สูงกว่า 10 g/l ส่งผลกระทบต่อประชากรอาร์เคียแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อแบคทีเรีย และพบประชากรอาร์เคียกลุ่มเด่น คือ **Methanoculleus thermophiles** จากผลการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจน และน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูง งานวิจัยนี้จึงพัฒนากระบวนการหมักแบบสองขั้นตอนสำหรับการผลิตไฮโดรเจนและมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การหมักสองขั้นตอนที่อุณหภูมิสูงและกระบวนการเมทาโนจีซิสที่อุณหภูมิเมโซฟิลิก แสดงให้เห็นถึงวิธีการที่มีแนวโน้มในการกู้คืนพลังงานและการกำจัด COD และ SS จากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสูงโดยระบบการย่อยสลายไร้อากาศสำหรับผลิตไฮโดรเจนควบคู่กับการผลิตมีเทน การผลิตไฮโดรเจนในขั้นตอนที่หนึ่งเดินระบบในถังปฏิกรณ์ anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) ที่พีเอช 5.5 อุณหภูมิ 55 °C ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ (Hydraulic retention time, HRT) 2 วัน และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 60 gCOD/l/d ให้อัตราการผลิตไฮโดรเจนสูงสุดที่ 1.84 l-H<sub>2</sub>/l/d คิดเป็นค่าเฉลี่ย 1.8 l-H<sub>2</sub>/l/d อัตราการผลิตมีเทนสูงสุดในขั้นตอนที่สองอยู่ที่ 2.6 และ 2.4 l-CH<sub>4</sub>/l/d ตามลำดับ ที่ HRT 15 วัน การผลิตไฮโดรเจนควบคู่กับการผลิตมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มช่วยเพิ่มผลได้พลังงาน โดยให้ผลได้พลังงานสูงกว่าการผลิตมีเทนระบบเดี่ยวร้อยละ 34 และสูงกว่าการผลิตไฮโดรเจนระบบเดี่ยวถึงร้อยละ 90 โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์แสดงแบคทีเรีย **Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum** เป็นประชากรเด่นในการผลิตไฮโดรเจน ในขณะที่ **Methanoculleus** sp. เป็นประชากรเด่นในการผลิตมีเทน

คำสำคัญ: น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การผลิตไฮโดรเจนและมีเทนที่อุณหภูมิสูง กรดไขมันระเหยได้ ฟีนีลิวตอบสอง การผลิตไฮโดรเจนและมีเทนสองขั้นตอน, โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์

#### Abstract

Palm oil mill effluent (POME) was contained of 85.5 g/l COD. Thus, POME is suitable substrate for hydrogen production. This research aims to study on hydrogen production from POME by dark fermentation. POME was tested at different initial COD loading levels of 20, 40 and 60 gCOD/l. Gas production from POME reached an H<sub>2</sub> yield of 130-200 ml H<sub>2</sub>/g COD. At the end of the BHP tests, lactic, acetic, butyric and propionic acids are the main products of POME hydrogenic effluent with a concentration of 3.95, 2.13, 0.25, 1.5 and 0.99 g/l respectively. Consequently, VFA could be converted into a suitable product or energy carrier such as methane via methanogenesis by methanogens under anaerobic digestion. Methane yields from

POME hydrogenic effluent at VS loading of 11.8, 17.7, 23.6 and 29.5 gVS/l corresponding to initial volatile fatty acid loading of 0.9, 1.8, 3.6 and 4.7 g/l, respectively, was 510, 467, 428 and 401 mlCH<sub>4</sub>/gVS. Response surface methodology was employed to study the effects of mixed VFA concentrations in biohydrogen effluent on methane yield and microbial community. It was found that acetic and butyric acid at high concentrations (8 g/l) were found to significantly inhibit the methane production process, more significantly than lactic and propionic acid (P<0.01). An optimization analysis showed that lactic, acetic, butyric and propionic acid at concentrations of 2.88, 5.01, 0.44 and 5.55 g/l, respectively, led to the methane yield of 447 ml CH<sub>4</sub>/gVS. The concentration of volatile fatty acid at higher than 10 g/l were found to inhibit thermophilic methanogenic archaea but it did not happen in thermophilic methanogenic bacteria. **Methanoculleus thermophilus** was the most abundant species identified in normal conditions, but was not present at inhibited conditions. The result was found that POME is suitable substrate for hydrogen production and POME hydrogenic effluent was high methane production. This study also demonstrates the feasibility of the two-stage hydrogen and methane from POME. A two-stage thermophilic fermentation and mesophilic methanogenic process shown very promising method for the combined energy recovery and removal of COD and SS in POME with the sequential anaerobic production of hydrogen and methane production. The hydrogen production in first stage was operated in anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) under a temperature of 55°C hydraulic retention time (HRT) of 2 d and organic loading rate (OLR) of 60 gCOD //d with maximum hydrogen production rate of 1.84 l H<sub>2</sub> //d and an average of 1.8 l H<sub>2</sub> //d. The maximum and average of methane production rate in the second stage were 2.6 and 2.4 l CH<sub>4</sub> //d, respectively at 15 d HRT. The sequential generation of hydrogen and methane from POME markedly increases the energy yield with 34% higher than single stage methane production and 90% higher than single stage hydrogen production. Hydrogen reactor was dominated with hydrogen producing bacteria of *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*, while *Methanoculleus* sp. was the dominant methanogen in methane reactor.

Keywords: Palm oil mill effluent, Thermophilic hydrogen and methane production, Volatile fatty acids, Response surface methodology, Two-stage hydrogen and methane production, Microbial community analysis