



# การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำสกัดผักตบชวา

## Biogas Production from Water Hyacinth Extract

Kodchakorn Thuanthong\* Peerakran Banjerdkig\* Sainam Distnaree\*\* and Suchat Leungprasert\*\*

กชกร ทวนทอง\* พีรภานต์ บรรเจิดกิจ\* สายน้ำ ดิษฐนารี\*\* และ สุชาติ เหลืองประเสริฐ\*

\*ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

\*\*สาขาการจัดการครัวและศิลปะการประกอบอาหาร คณะอุตสาหกรรมบริการ วิทยาลัยดุสิตธานี กรุงเทพฯ 10250

E-mail : fengscl@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตก๊าซจากน้ำสกัดผักตบชวาโดยระบบการหมักแบบไร้อากาศ ใช้สารตั้งต้นในการหมักเป็นน้ำที่คั้นจากผักตบชวา ใช้เชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคและดินระบบการหมักขั้นตอนเดียวแบบกึ่งต่อเนื่อง การหมักนี้ใช้ถังหมักขนาด 5 ลิตร ทำการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ 1.63, 2.29 และ 2.94 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาพักเก็บ 10, 8 และ 6 วัน ตามลำดับ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มวลจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบมีค่าประมาณ 41,980 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า ระบบการหมักแบบไร้อากาศให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (104.50 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด โดยคิดเป็น 295.42 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.63 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีและของแข็งระเหยเท่ากับ 89.53 เปอร์เซ็นต์ และ 72.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในระหว่างการหมักน้ำสกัดผักตบชวามีความจำเป็นต้องควบคุม pH ในระบบให้เป็นกลาง

**คำสำคัญ :** ก๊าซชีวภาพ; การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน; การหมักขั้นตอนเดียวแบบกึ่งต่อเนื่อง; น้ำสกัดผักตบชวา; มูลโค

### Abstract

This study investigated gas production from Water Hyacinth Extracted by the anaerobic process. The substrate used in this study was water hyacinth extract and microorganisms came from cow dung in a semi-continuous single-stage operation. The 5 liter bioreactors were operated. Organic Loading Rates (OLRs) were 1.63, 2.29 and 2.94 kg COD/m<sup>3</sup>-day respectively, which corresponded to hydraulic retention time (HRT) of 10, 8 and 6 days. The experiments were performed at the temperature of 30°C. The initial biomass in all reactors was approximately 41,980 mg Mixed Liquor Suspended Solids per Liter. The maximum methane yield at STP (104.50 L/kg of COD degraded or 295.42 L/kg of TVS degraded) was observed at an OLR of 1.63 kg COD/m<sup>3</sup>-day. At this OLR and HRT, the efficiency removal of COD and TVS was 89.53% and 72.49%, respectively.

**Keywords :** Biogas; Anaerobic digestion; Semi-continuous single-stage operation; Water hyacinth extract; Cow dung

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การผลิตพลังงานภายในประเทศมีปริมาณลดลง ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ [1] และได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานที่มีจำกัด ซึ่งเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) เกิดจากการทับถมกันของซากพืชซากสัตว์ที่มีอยู่อย่างจำกัดใต้ผิวโลกเป็นระยะเวลาอันยาวนาน เมื่อนำมาใช้ในปริมาณมากก็ย่อมจะหมดไป ไม่สามารถที่จะเกิดขึ้นได้ตามตามความต้องการของมนุษย์ มนุษย์จึงพยายามค้นหาและค้นคว้าพลังงานทดแทนจากแหล่งอื่นๆ เพื่อลดการใช้พลังงานฟอสซิลให้ลดน้อยลง นอกจากนี้ประเทศไทยมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกในประเทศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ก๊าซชีวภาพจึงเป็นพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเพื่อมาทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป

ผักตบชวา (Water Hyacinth) เป็นวัชพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทนทานต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากมีการขยายพันธุ์ที่รวดเร็ว ส่งผลให้แพร่กระจายไปได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งเมล็ดและการแตกหน่อจึงเป็นปัญหาในระบบนิเวศทางน้ำมาอย่างยาวนาน ส่วนมากผักตบชวาจะเกิดขึ้นติดกันเป็นพรมหนา ส่งผลต่อการส่องผ่านของแสงลงใต้น้ำสำหรับพืชและสัตว์น้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงก่อให้เกิดน้ำเน่าเสีย กีดขวางการไหลของน้ำ บดบังทัศนียภาพ รวมถึงการทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ในแต่ละปีรัฐบาลต้องเสียงบประมาณในการกำจัดผักตบชวาประมาณ 50 ล้านบาท [2]

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าผักตบชวาจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แต่ผักตบชวาสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ โดยการใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 21 ซึ่งค่าที่

เหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพควรอยู่ในช่วง 20-30 งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำสกัดผักตบชวามาผลิตก๊าซชีวภาพและหาค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR) ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$  yield) สูงสุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic reactor) ด้วยถังพลาสติกจำนวน 9 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยถังหมักความจุใช้งาน 5 ลิตร เก็บก๊าซโดยการแทนที่น้ำ (Water displacement) ซึ่งใช้สารละลายซัลฟูริก (Sulfuric) เข้มข้น 0.05 โมลาร์ บรรจุแทนน้ำในถังเก็บก๊าซ และมีจุดสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas sampling point) เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

เตรียมผักตบชวา (Water Hyacinth) สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้น การเก็บตัวอย่างผักตบชวาทำโดยการเก็บจากกอผักตบชวาที่อยู่ในน้ำขึ้นมาแล้วตัดเอาส่วนรากและไหลผักตบชวาออกมาเฉพาะส่วนที่เป็นก้านและใบ นำมาหั่นขนาด 2-5 มิลลิเมตร จากนั้นคั้นแยกระหว่างกากและน้ำ นำส่วนน้ำมาใช้ในการทดลอง หาค่าเริ่มต้นของซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ของแข็งระเหยทั้งหมด (Total Volatile Solids, TVS) ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ค่าพีเอช (pH) และความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP)

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง คือ มูลโคสด (Cow Dung) ซึ่งรวบรวมจากฟาร์มโค แล้วนำมาละลายน้ำในอัตราส่วน 1:2 เพื่อไม่ให้มูลโคมีลักษณะข้นหรือเหนียวเกินไป จากนั้นเติมลงในถังหมักถังละ 1 ลิตร วิเคราะห์มวลจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบในรูปแบบของ Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)



รูปที่ 1 ระบบหมักไร้อากาศและระบบเก็บก๊าซ

การเดินระบบเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous operation) โดยทำการเติมสารละลายผสมน้ำสกัดผักตบชวาด้วยอัตราการเติมดังตารางที่ 1 เป็นผลให้ระยะเวลาเก็บในถังหมักแต่ละชุดมีค่าดังตารางที่ 1 และคำนวณค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เติมเข้าถังหมักแต่ละชุด

ในการเดินระบบ ได้มีการปรับค่าพีเอช ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ให้มีค่าพีเอช ประมาณ 7.5 ตลอดเวลาในการเดินระบบ โดยการกวนผสมด้วยใบพัดในถังหมัก จากนั้นบันทึกข้อมูลปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในถังหมักแต่ละชุดแต่ละวัน จนปริมาตรก๊าซคงที่จึงเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ที่สภาวะคงที่ ได้ทำการบันทึกปริมาตรก๊าซรวมที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยใช้วิธีแทนที่น้ำ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ สามวัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน ด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยรายงานปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในสภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) จากนั้น

เก็บสารละลายผสมของน้ำสกัดผักตบชวาที่ผ่านการหมัก (Digested Slurry) ที่ออกจากถังหมักของทุกถัง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย TKN สภาพต่าง กรดอินทรีย์ระเหยง่าย และวัดค่าพีเอช แล้วนำค่าที่ได้ไปหาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (% COD Degraded) และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหย (%TVS Degraded) คำนวณหาผลผลิตมีเทน ( $\text{CH}_4$  yield) ในรูปของผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (L at STP/kg COD Degraded) ผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งระเหย (L at STP/kg TVS Degraded) และผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งทั้งหมดเข้าระบบ (L at STP/kg TS Degraded) การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนใช้เครื่อง Gas chromatography รุ่น GC 6890 agilent technologies model: G 1530A ส่วนการวิเคราะห์ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยเป็นไปตามวิธีมาตรฐาน [3]

ตารางที่ 1 อัตราการเติมสารละลายผสม และระยะเวลาเก็บกักในถังหมักแต่ละชุด

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์	อัตราการเติมสารละลายผสม (มิลลิลิตรต่อวัน)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)
1.63	500	10
2.29	700	8
2.94	900	6

## ผลการทดลองและวิจารณ์

จากเตรียมน้ำสกัดผักตบชวาผสมกับมูลโค พบว่ามีค่า pH เริ่มต้นเป็น 6.67 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณ

ของแข็งระเหย และ TKN มีค่าเท่ากับ 16,368, 15,965 7,160 และ 610 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งในการหาค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ คำนวณได้จากสมการ (1)

$$\text{อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{อัตราการเติมสารตั้งต้นเข้าสู่ระบบ (ลบ.ม./วัน)} \times \text{ซีโอดีเริ่มต้น (กก./ล)}}{\text{ปริมาตรใช้งานของถังหมัก (ลิตร)}}$$

(สำหรับการหาอัตราภาระบรรทุกของแข็งระเหยง่าย คิดในทำนองเดียวกัน)

ในการทดลอง เมื่อเติมน้ำสกัดผักตบชวาผสมกับมูลโคเข้าระบบหมัก ด้วยอัตราการไหล 500, 700 และ 900 มิลลิลิตรต่อวัน เข้าสู่ถังหมักที่มีความจุใช้งาน 5 ลิตร ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเป็น 1.63, 2.29 และ 2.94 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณมวลจุลินทรีย์เริ่มต้น (วิเคราะห์ในรูปแบบ MLSS) มีค่าประมาณ 41,980 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการดำเนินการทดลอง พบว่า ระบบต้องใช้เวลาประมาณ 20 วัน จึงเข้าสู่สภาวะคงที่ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งเร็วกว่าระบบบำบัดแบบไร้อากาศทั่วไป ซึ่งพบว่าการเข้าสู่สภาวะคงที่ ใช้ระยะเวลาประมาณ 50 วัน [4] ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำสกัดผักตบชวาผสมกับมูลโค มีจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้อากาศที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพอาศัยอยู่ [5] จากการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.63, 2.29 และ 2.94 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่า ปริมาตรก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่ผลิตได้เป็น  $765 \pm 59.91$ ,  $676 \pm 81.06$  และ  $575 \pm 86.56$  มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี คิดเป็นร้อยละ  $89.53 \pm 6.08$ ,  $82.33 \pm 6.42$  และ  $75.93 \pm 6.92$  ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.63, 2.29 และ 2.94 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยคิดเป็นร้อยละ

72.49, 64.58 และ 53.95 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.63, 2.29 และ 2.94 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ผลจากการทดลองนี้ พบว่า เมื่อค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและของแข็งระเหย โดยพบว่า ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูง จะให้ผลผลิตก๊าซมีเทนที่น้อยกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ รวมทั้งประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและของแข็งแขวนลอยลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาเก็บกักน้อย ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แบบไร้อากาศไม่สมบูรณ์

ผลการทดลองในรูปปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี และของแข็งระเหย และผลผลิตก๊าซมีเทนในรูปต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

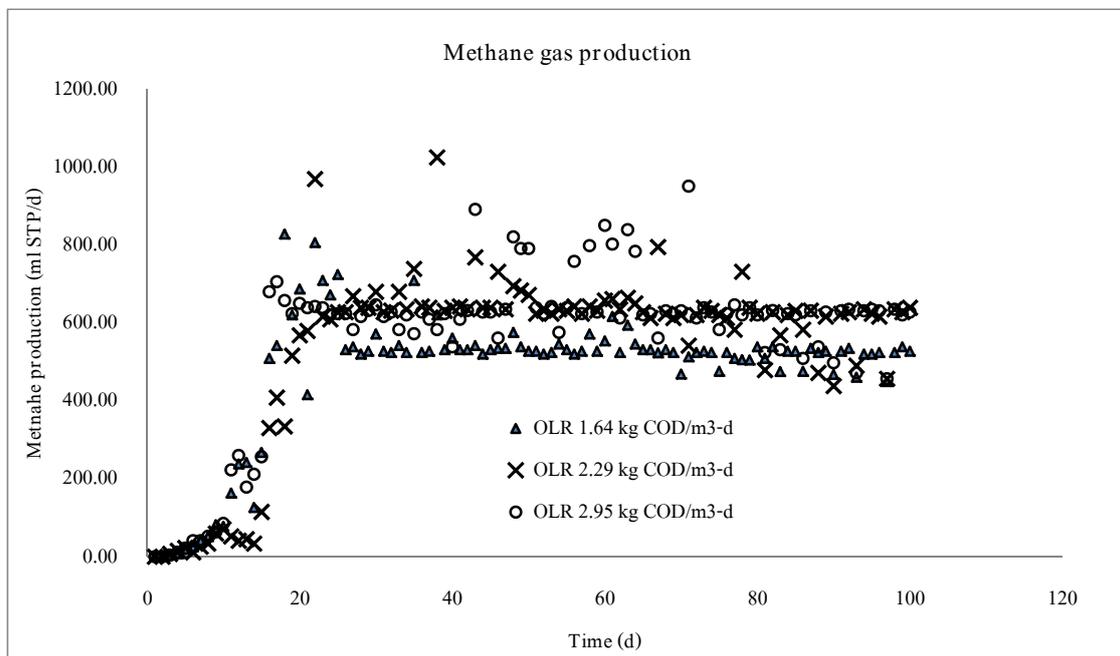
ผลผลิตก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$  yield) ประเมินได้จาก ปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด หรือต่อของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด หรือปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าระบบ โดยคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$\text{ผลผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)} = \frac{\text{ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (ลิตร/วัน)}}{\text{อัตราการเติมสารตั้งต้น (ลบ.ม./วัน)} \times (\text{ซีโอดีเข้า-ซีโอดีออก, กก./ล.})}$$

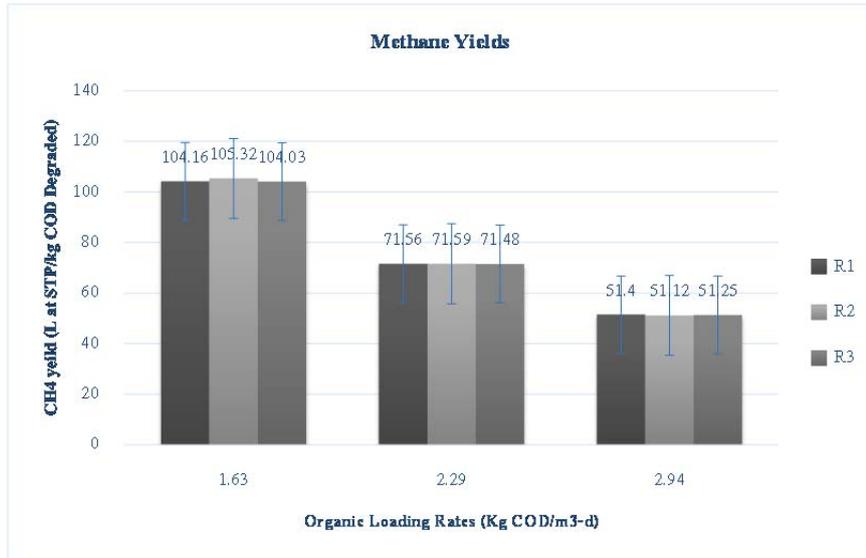
(ผลผลิตก๊าซมีเทนที่แสดงในหน่วยอื่นๆ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน)

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาวิธีการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำสกัดผักตบชวา

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)		
	1.63	2.29	2.94
ความจุถังหมัก (L)	5	5	5
อัตราการเติมสารละลาย (ml/day)	500	700	900
ระยะเวลาเก็บกักของถังหมัก (day)	10	8	6
มวลจุลินทรีย์เริ่มต้น (mgMLSS/L)	41,980	41,980	41,980
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้น	6.67	6.67	6.67
ความเป็นกรด-ด่างในถังหมัก	7.33	7.14	6.94
ปริมาตรก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ (ml at STP/day)	765±59.91	676±81.06	575±86.56
ค่า CH <sub>4</sub> เฉลี่ย (%)	70.93±0.99	52.83±3.63	45.16±3.11
ค่าซีโอดีที่เติมเข้าระบบ (mgCOD/L)	16,368	16,368	16,368
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	89.53±6.08	82.33±6.42	75.93±6.92
ค่าของแข็งระเหยที่เติมเข้าระบบ (mgTVS/L)	7,160	7,160	7,160
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย (%)	72.49±3.61	64.58±5.10	53.95±5.54
ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้าระบบ (mgTS/L)	15,965	15,965	15,965
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด (%)	81.27±13.24	73.30±14.70	74.53±15.21
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgCOD degraded)	104.50±0.71	71.66±0.06	51.26±0.14
ผลผลิตก๊าซมีเทน (L at STP/kgTVS degraded)	295.42±18.22	209.04±8.03	165.93±12.62



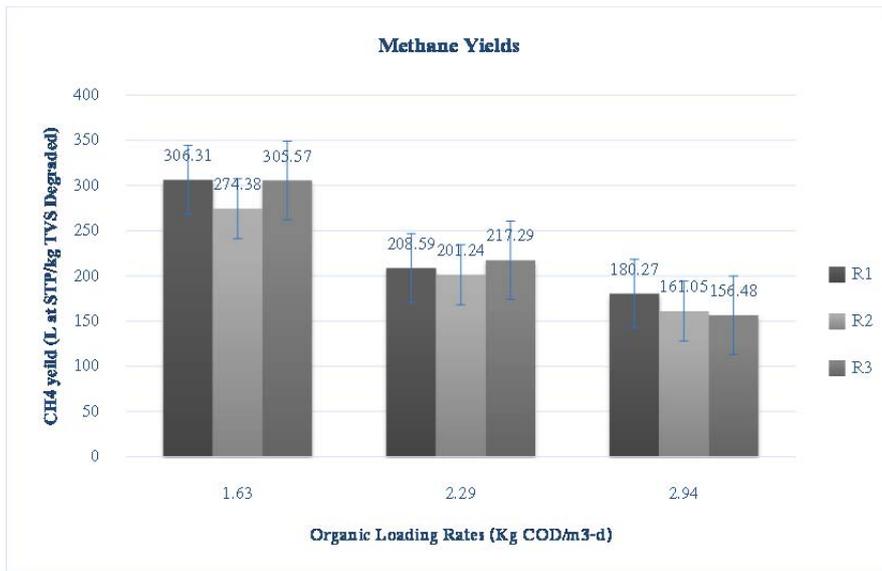
รูปที่ 2 ปริมาตรก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อวัน ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 3 ผลผลิตก๊าซมีเทนในหน่วยลิตรที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 3 จากการทดลองพบว่าที่ อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1.63 กิโลกรัมซีโอดีต่อ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดมีค่าเฉลี่ย

104.50±0.71 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด หรือ 295.42±18.22 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด (ตารางที่ 2 และรูปที่ 4)



รูปที่ 4 ผลผลิตก๊าซมีเทนในหน่วยลิตรที่สภาวะมาตรฐานต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

ในทดลองพบว่าค่า pH เริ่มต้นในระบบมีค่าประมาณ 6.67 จึงมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) เพื่อให้ค่า pH ในระบบมีค่าประมาณ 7.50 และเมื่อเดินระบบพบว่าค่า pH มีแนวโน้มลดลง ซึ่งส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนลดลง จึงมีการควบคุมค่า pH โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) เพื่อปรับค่า pH ให้มีค่าประมาณ 7.5 ตลอดการทดลอง

### สรุปผลการทดลอง

น้ำสกัดผักตบชวาสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้ และให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูง จากการหมักโดยระบบหมักแบบไร้อากาศขั้นตอนเดียว แบบกึ่งต่อเนื่องที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.63 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในถังหมัก 7.33 ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีได้ร้อยละ  $89.53 \pm 6.08$  และกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของแข็งระเหยได้ร้อยละ  $72.49 \pm 3.61$  ผลผลิตมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ย  $104.50 \pm 0.71$  ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด หรือคิดเป็น  $295.42 \pm 18.22$  ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI)

### เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Energy Situation of Thailand. [Online]. Source: [http://www.dede.go.th/download/state\\_58/sit\\_59/frontpage\\_jan59.pdf](http://www.dede.go.th/download/state_58/sit_59/frontpage_jan59.pdf). [13 March 2560] (in Thai)

- [2] Prime Minister's Office (2557) Quantity of Water Hyacinth. [Online]. Source: <http://region2553.prd.go.th/prphayao/news>. [4 March 2560] (in Thai)
- [3] APHA, AWWA, and WEF. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 20 ed Washington, D.C. 2005.
- [4] Barua, V.B. and Kalamdhad, A.S. 2018. Anaerobic Biodegradability Test of Water Hyacinth after Microbial Pretreatment to Optimise the Ideal F/M ratio. Fuel, 217. 91-97.
- [5] Savanon, S., Sangsri, S., Leugprasert, S. and Sinbuathong, N. 2017. Methane Production from Napier Grass by Co/digestion with Cow Dung. Energy Solutions to Combat Global Warming, Lecture Note in Energy, 33. 169-180.
- [6] Sinbuathong, N., Sangsil, Y. and Leugprasert, S. 2016. Methane Production from Napier Grass by Two-stage Anaerobic Digester. International Journal of Global Warming, 10(4), 423-436.