

# The study of alternative energy from Water hyacinth , A case study: Tha Chin River Basin

Nontanan Kuerchart<sup>1,\*</sup> and Orathai Chavalparit<sup>2</sup>

## ABSTRACT

An invasive weed thrives in freshwater bodies causing serious economic damage including irrigation, agriculture, water transportation, and public health, especially in the Tha Chin River basin. Therefore, there is a need for the development of value added from such weed. This study aims to evaluate the potential of the water hyacinth as a renewable energy resource for biogas and electricity production. Data on the characteristics and utilization of water hyacinth in Tha Chin River basin were collected. The potential of using water hyacinth as feedstock for biogas production was assessed through three key aspects: technology, economy, and environment impact. A power plant utilizing water hyacinth from Tha Chin River basin was used as a case study. This power plant uses 17.93 tons of fresh water hyacinth per day as feedstock for a biogas reactor with a capacity of 1,000 cubic meters. The plant generates 404.88 cubic meters of biogas daily, with an electricity production potential of 506.10 kilowatts per day. The results show that in terms of energy, the appropriate technology for biogas production from water hyacinth is a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) with completely mixed system. Economic analysis shows a Net Present Value (NPV) with greater cash inflow than cash outflow, an Internal Rate of Return (IRR) of 17%, a Benefit Cost Ratio(B/C) of 2.59, and a Payback Period of 1.27. Environmental aspect technology for producing alternative energy from biomass via Anaerobic digestion significantly reduces greenhouse gas emissions, achieving a reduction of 5,791.44 tons of CO<sub>2</sub>e per year.

**Keywords:** Water hyacinth, Alternative energy, Biogas, Anaerobic digestion

Published Online: 8 April 2026

ISSN: 3057-0778 (Online)

Nontanan Kuerchart<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Energy Technology and Management  
 (ETM) Chulalongkorn University  
 (6480096720@student.chula.ac.th)

Orathai Chavalparit<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Department of  
 Environmental and Sustainable  
 Engineering Faculty of Engineering  
 Chulalongkorn University  
 (6480096720@student.chula.ac.th)

\*Corresponding Author

Received date: 23 April 2025

Revised date: 26 May 2025

Accepted date: 26 March 2026

# ศึกษาทางเลือกการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา กรณีศึกษา บริเวณลุ่มแม่น้ำท่าจีน

นนทนันท์ เกื้อชาติ<sup>1,\*</sup> และอรรถัย ขวาลภาฤทธิ์<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

ผักตบชวาชนิดหนึ่งได้แพร่กระจายในแหล่งน้ำจืด ส่งผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจอย่างรุนแรงต่อระบบชลประทาน การเกษตร การคมนาคมทางน้ำ และสาธารณสุข โดยเฉพาะในลุ่มน้ำท่าจีน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาแนวทางเพิ่มมูลค่าสำหรับผักตบชวา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูลของผักตบชวา ลักษณะ คุณสมบัติ องค์ประกอบ การนำไปใช้ประโยชน์ และวิเคราะห์เทคโนโลยีการผลิตพลังงานทางเลือกจากชีวมวล และศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนนำไปผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากผักตบชวา พร้อมสรุปทางเลือกการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา ที่มีความเหมาะสม 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจ ด้านพลังงานศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการแพร่ของผักตบชวาก่อให้เกิดความเสียหายในด้านต่างๆ ทั้งด้านการชลประทาน เกษตรกรรม การคมนาคมทางน้ำ และสาธารณสุข โดยเฉพาะบริเวณลุ่มน้ำท่าจีน แต่ในทางกลับกันสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น นำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ รวมถึงการนำก๊าซชีวภาพไปผลิตไฟฟ้า จากการศึกษาวิเคราะห์ทางเลือกการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาแห่งหนึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน มีการใช้วัตถุดิบผักตบชวา 17.93 ตันสด/วัน ถึงปฏิกรณ์ ขนาด 1,000 ลบ.ม. กำลังผลิตก๊าซชีวภาพ 404.88 ลบ.ม./วัน และศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า 506.10 กิโลวัตต์/วัน สรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้ เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา คือ ถึงปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ โดยมี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีกระแสเงินสดเข้ามาสูงกว่ากระแสเงินสดออก มีอัตราผลตอบแทนที่ 8% มีสัดส่วนผลตอบแทนที่ 2.59 และมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.27 นอกจากนี้ เทคโนโลยีการผลิตพลังงานทางเลือกจากผักตบชวาโดยการหมักแบบไร้อากาศ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 5,791.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

คำสำคัญ: ผักตบชวา พลังงานทางเลือก ก๊าซชีวภาพ การย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

Published Online: 8 เมษายน 2569

ISSN: 3057-0778 (Online)

นนทนันท์ เกื้อชาติ<sup>1,\*</sup>

<sup>1,\*</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
กรุงเทพมหานคร  
(6480096720@student.chula.ac.th)

อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์<sup>2</sup>

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
กรุงเทพมหานคร  
(6480096720@student.chula.ac.th)

\*Corresponding Author

Received date: 23 เมษายน 2568

Revised date: 26 พฤษภาคม 2568

Accepted date: 26 มีนาคม 2569

## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องพลังงาน และการส่งเสริมเกี่ยวกับเรื่องพลังงานทดแทนเป็นอย่างมาก ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 ของกระทรวงพลังงาน เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยกระทรวงพลังงานได้ทบทวนแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ ซึ่งประกอบด้วยแผนพลังงาน 5 แผน ได้แก่ (1) แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (2) แผนอนุรักษ์พลังงาน (3) แผนพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก (4) แผนการจัดการก๊าซธรรมชาติของไทย และ (5) แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยพิจารณาทบทวนให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) และแผนการปฏิรูปประเทศด้านพลังงาน ที่มุ่งเน้นการสร้างสมดุลระหว่างการพัฒนาความมั่นคง เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ตามนโยบายสำคัญในการปรับเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP2018 Rev.1) กำหนดเปิดรับซื้อไฟฟ้าระหว่างปี พ.ศ. 2563 – 2567 โดยมีเป้าหมายกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าชุมชนที่จะรับก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย 183 เมกะวัตต์ และก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน 600 เมกะวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563)

ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการแพร่กระจายของผักตบชวา ซึ่งการแพร่กระจายของผักตบชวาก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่น้ำ ลำคลอง และระบบนิเวศในประเทศไทย ผักตบชวาเป็นวัชพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิลในทวีปอเมริกาใต้ สามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว อยู่ได้ทุกสภาพน้ำ และทนทานต่อสภาพแวดล้อม (องค์การสวนพฤกษศาสตร์, 2566) อย่างไรก็ตามผักตบชวาก็ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย การนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์เป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการจัดการกับปริมาณผักตบชวาที่มีอยู่ให้มีปริมาณที่ลดน้อยลง โดยสามารถนำมาผลิตพลังงานทดแทนได้หลายวิธี เช่น ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (จิราภรณ์ และคณะ, 2562) ผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นต้น ผักตบชวายังถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานฟอสซิล และลดต้นทุนด้านพลังงานได้ โดยนำผักตบชวาที่เป็นวัชพืชที่ไร้ค่า และมีปริมาณมากในประเทศไทยมาต่อยอดแปรรูปเป็นพลังงานด้วยวิธี "ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติศักยภาพสูง" (โครงการวิจัยและอบรมการต่อยอดนำผักตบชวา, 2560) อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีกระบวนการแปรรูปพลังงานทดแทนจากผักตบชวา มาผลิตไฟฟ้ามีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยตลอดกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ เท่ากับ 1.564 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh (วิริยะ, 2560)

ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 ของกระทรวงพลังงานในการผลิต และการใช้งานก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน 30% ภายใน 2580 (พ.ศ. 2561-2580) บรรลุตามเป้าหมายกระทรวงพลังงานกำหนด จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา โดยสำหรับงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนนำไปผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากผักตบชวา พร้อมทั้งสรุปทางเลือกการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา ที่มีความเหมาะสมครอบคลุม 3 ด้าน ได้แก่ ด้านพลังงาน ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อม

## 2. วิธีการวิจัย

### 1. ศึกษาข้อมูลของผักตบชวา ปริมาณ คุณลักษณะ การนำไปใช้ประโยชน์

ศึกษารวบรวมข้อมูลของผักตบชวาลักษณะ คุณสมบัติ องค์ประกอบ ความเพียงพอของการใช้เป็นวัตถุดิบ การนำไปใช้ประโยชน์ รวมถึงข้อมูลอื่นๆ ที่สำคัญของผักตบชวาทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

1) แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ ได้ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน สำนักงานสิ่งแวดล้อม รวมถึงปราชญ์ชาวบ้าน เป็นต้น

2) แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ได้จากการค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้แก่ หนังสือพิมพ์ วารสาร เว็บไซต์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการขอความร่วมมือจากหน่วยงานรัฐและเอกชนที่มีประสบการณ์ เพื่อนำข้อมูลมาศึกษาในรูปแบบผลิตภัณฑ์ก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 2. ศึกษา รวบรวมเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทางเลือกจากชีวมวล รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่สำคัญ

ศึกษาและรวบรวมเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทางเลือกจากชีวมวล ทำการรวบรวมข้อมูล สืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจาก เอกสาร วารสารทางวิชาการต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทางเลือกจากชีวมวล รวมถึงข้อมูลอื่นๆ และนำผลการสืบค้นที่ได้มาเปรียบเทียบในลักษณะต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์หาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตพลังงานทางเลือกจากผักตบชวา ในรูปแบบก๊าซชีวภาพ

## 3. การวิเคราะห์ทางพลังงาน

ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างชีวมวลของผักตบชวา ประกอบกับการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อทำการสรุปหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา โดยเลือกใช้รูปแบบของถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจน

## 4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผู้วิจัยจะรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาออกแบบโรงไฟฟ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งสามารถชี้วัดได้จากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value), อัตราผลตอบแทน (Internal Rate of Return – IRR), อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับต้นทุน (Benefit Cost Ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

## 5. การวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยจะรวบรวมข้อมูลต่างๆ นำมาวิเคราะห์โรงไฟฟ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา เพื่อนำมาประเมินทางสิ่งแวดล้อม และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากการดำเนินโครงการ

## 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 1. การศึกษาโครงสร้างทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา

ผักตบชวามีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 95 กากแห้งของผักตบชวามีองค์ประกอบของเซลลูโลส ร้อยละ 43-44 ลิกนินร้อยละ 12-13 เพนโตแซนร้อยละ 14-15 มีองค์ประกอบของธาตุอาหารไนโตรเจน ร้อยละ 2.7-3.5 และฟอสฟอรัสร้อยละ 0.1-0.4 มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.85 (พัทธกมล สมบุตร, 2561) จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีพบว่า มีองค์ประกอบของออกซิเจน และคาร์บอนเป็นธาตุหลักเท่ากับ ร้อยละ 49.5 และ 14.46 ตามลำดับ ส่วนธาตุอื่น ได้แก่ Na, Mg, Al, Zr, Cl, K, Ca, Si, Ti, and Fe (Sukarni et al, 2019) ส่วนผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพพบว่าผักตบชวามีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 64.4 (น้ำหนักแห้ง) บ่งชี้ถึงความสามารถในการให้พลังงานความร้อน หรือติดไฟได้ ดัง Table 1

Table 1 The proximate test of Water hyacinth

Parameters	Unit	Fresh Weight	Dry Weight
Moisture	wt%	95.1	-
Volatile matter	wt%	61.2	64.4
Fixed carbon	wt%	13.8	14.5
Ash	wt%	20.1	21.1
NCV	Kcal/kg	3,455	3,633

ที่มา: Sukarni et al, (2019)

## 2. การวิเคราะห์ทางเทคโนโลยีด้านพลังงาน

ก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบของมีเทนร้อยละ 50-75 โดยปริมาตร ซึ่งมีพลังงาน 35,846 kJ/m<sup>3</sup> (1000 Btu/ft<sup>3</sup>) และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 25-40 การย่อยสลายขยะอินทรีย์ 1 ตันจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50-110 และ มีเทน 90-140 ลบ.ม. สู่บรรยากาศ ดังนั้นหากสามารถเก็บกักก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ได้แก่ ผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนผ่าน combined heat and power (CHP) ใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติ ในกรณีที่ปรับปรุงให้มีองค์ประกอบของมีเทนมากกว่าร้อยละ 95 และใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในการขนส่ง compressed natural gas (CNG) หรือผลิตเชื้อเพลิงเหลวผ่านกระบวนการ thermochemical reforming ก็จะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลและจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ด้วย

จากการรวบรวมเอกสารรายงานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากของเสียอินทรีย์สามารถสรุปตัวอย่างของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลประเภทต่างๆ ดัง Table 2

**Table 2** An example of a comparative study of biogas production technologies from biomass

Technological classifications	HRT (days)	Organic loading rate (%)	Methane production	% methane content	Conversion eff. (%)
Anaerobic digester	30-180	6-20	low	-	-
CSTR	20-50	1-15	0.44-0.32L/gVS	80-85	<60
Plug flow reactor (cover lagoon)	15-20	11-24	-	-	65-75
UASB	1	6.9-7.8 kg COD /m/day	0.86 L/gCOD removed	-	-

**หมายเหตุ:** - No data available; CSTR = Continuous stirred tank reactor; UASB = Upflow anaerobic sludge blanket

**Table 3** Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) and Operational Conditions for Biogas Production from Selected Biomass Feedstocks

Type	Bioreactor	Volume (Liter)	Temperature (°C)	Total Solids (%)	Retention Time (Day)	Methane Yield (L. methane/kg/day)
Silage (timothy and meadow fescue)	CSTR	2	35	6.6	30	0.4
Cattle Manure and Dried Grass Silage	CSTR	3	35	8.07	30	0.167-0.271
Wheat Straw and Livestock Manure	CSTR	8	37		25	0.18-0.21
<b>Water Hyacinth</b>	<b>CSTR</b>	<b>7</b>	<b>35</b>	<b>2.47</b>	<b>21</b>	<b>0.3</b>
Cattle Manure and Water Hyacinth	CSTR	200	32±5		30	0.375

**ที่มา:** Booddachan and Wannapakhe, (2013)

จากการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา คือ เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบถังกวนต่อเนื่อง (CSTR) โดยทำการบำบัดเบื้องต้นทางกายภาพด้วยวิธีการลดขนาด ด้วยการหั่น สับ หรือบดก่อนใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผักตบชวาที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจะนำมาเจือจางให้มีค่าร้อยละของค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำลงในระดับหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถึงปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ มีช่วงเวลาเก็บกักที่ใช้อยู่ในช่วง 21-30 วัน มีกระบวนการกวนผสมสามารถช่วยให้จุลชีพสัมผัสกับผักตบชวาได้อย่างทั่วถึง และไม่มีปัญหาการอุดตันในถังปฏิกรณ์ ดังมีข้อมูลในการใช้ระบบ CSTR ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลประเภทต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ ดัง Table 3

### 3. ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

#### 3.1 การออกแบบข้อมูลโรงไฟฟ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา

##### 1) ข้อมูลเบื้องต้น

ปริมาณผักตบชวา	=	17.93	ตันสด/วัน
ใช้ค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ *	=	1.5	กก.ของแข็งระเหยทั้งหมด/ลบ.ม.-วัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	=	0.30	ล./ก.ค่าของแข็งระเหยทั้งหมดที่เติม
ค่าปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดของผักตบชวา	=	24,700	มก./ล.
ความหนาแน่นเฉลี่ยของผักตบชวา	=	0.6564	กก./ล.

##### 2) คำนวณหาขนาดถังปฏิกรณ์

กำหนดอัตราส่วน (ผักตบชวา : จุลินทรีย์ = 1:1)	
ผักตบชวา 17.93 ตันสด/วัน มีปริมาตร	= (17,930 กก./วัน) / (0.6564 กก./ล.)
	= 27.32 ลบ.ม./วัน
ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้	= 27.32 ลบ.ม./วัน
ปริมาณผักตบชวาที่เข้าระบบ (Q)	= 27.32 + 27.32 ลบ.ม
	= 54.64 ลบ.ม./วัน
จาก OLR	= $Q \cdot VS/V$
ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (V)	= (54.64 ลบ.ม./วัน × 24,700 มก./ล.)
	(1.5 กก.ของแข็งระเหยทั้งหมด ลบ.ม./วัน)
	= 900 ลบ.ม.

ดังนั้นจะทำการเลือกปริมาตรถังปฏิกรณ์ เท่ากับ 1,000 ลบ.ม.

##### 3) คำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

ภาระบรรทุกค่าของแข็งระเหยทั้งหมดที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์	=	54.64 ลบ.ม./วัน × 24,700 มก./ล
	=	1,349.61 กก./วัน ค่าของแข็งทั้งหมด
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	=	0.30 ล./ก.ค่าของแข็งระเหยทั้งหมด ×
	=	1,349.61 กก./วัน ค่าของแข็งทั้งหมด
	=	404.88 ลบ.ม./วัน
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า	=	404.88 ลบ.ม./วัน × 1.25 ลบ.ม/ชั่วโมง-
	=	กิโวลต์
	=	506.10 กิโลวัตต์/วัน
ปุ๋ยที่ได้จากระบบ	=	17.93 ตันสด/วัน × 0.038
	=	0.68 ตัน/วัน

ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าจากผักตบชวาโดยการผลิตก๊าซชีวภาพใช้ผักตบชวา 17.93ตันสด/วัน ถึงปฏิกรณ์ขนาด 1,000 ลบ.ม. สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 404.88 ลบ.ม./วัน มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า 506.10 กิโลวัตต์/วัน และผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ 0.68 ตัน/วัน

### 3.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

เงื่อนไขข้อกำหนดการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการจากข้อมูลจากโรงไฟฟ้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวากรณีศึกษา ดัง Table 4

**Table 4** Operational Conditions and Design Criteria Based on Data Collection from a Water Hyacinth-Based Biogas Power Plant: A Case Study

Parameter	Unit	Value
Installed Capacity	MW	1
Contracted Capacity	MW Plant Factor	405
	80%	
Contract Term	Year	20
Total Operating Days	Day/Year	300
Total Operating Hours	Hours/Day	8
Electricity Generated	MWh/year	152
Annual Electricity Generation	kWh/year	1,214,640
(kWh/y)		
Daily Electricity Generation	kWh/day	506
(kWh/day)		
MARR	%of CAPEX	12%
WACC (i)	%of CAPEX	12%
PV		6%
OPEX	THB	17,230,281.39
CAPEX	THB	34,820,463.00
Selling Price	THB/kWh	39.72
Annual Production	Day	300
Annual Production	Hr	2400
Daily Production	Hr	8

#### 1) จุดคุ้ม Break Even Point

	กำไร	=	รายได้ (PQ) – ต้นทุน (F+VQ)
กำหนดให้	P	=	ราคาขายต่อหน่วย
	Q	=	จำนวนหน่วยที่ขายได้
	F	=	Fixed cost
	V	=	Variable
กำหนดให้	BEP	=	Q*
	กำไร	=	Q
จะได้	Q	=	PQ* - (F + VQ*)

	$Q^*$	=	$\frac{F}{(P-V)}$	
2) คำนวณ Fixed Cost				
	CAPEX	=	34,820,463.00 THB	
	Life	=	20 years	
	Invest.	=	1,741,023.15 THB/year	(A)
	Total OPEX	=	1,611,514.07 THB/year	(B)
	Fixed Cost	=	(A) + (B)	
		=	3,352,537.22 THB/year	
Fixed cost per unit				
	Fixed Cost	=	$\frac{3,352,537.22}{1,214,640.00}$ THB	
		=	2.76 THB/kWh	
3) คำนวณ Variable Cost				
Variable cost per unit				
	Variable Cost	=	$\frac{17,230,281.39}{1,214,640.00}$ THB	
		=	14.19 THB/kWh	
4) คำนวณ Total Cost				
	Total cost/unit	=	Fixed cost (unit) + Variable cost(unit)	
		=	16.95 THB/kWh	
5) คำนวณ Revenue				
	price	=	39.72 THB/kWh	
6) คำนวณ Break Even Point				
	$Q^*$	=	$\frac{F}{P-V}$	
		=	$\frac{\text{Fixed Cost}}{\text{Revenue} - \text{Variable cost}}$	
		=	$\frac{3,352,537 \text{ THB}}{300 \text{ days} * 8 \text{ hr}}$	
		=	25.53	
		=	54.71 kW	
	$Q^*$	=	10.81 %	

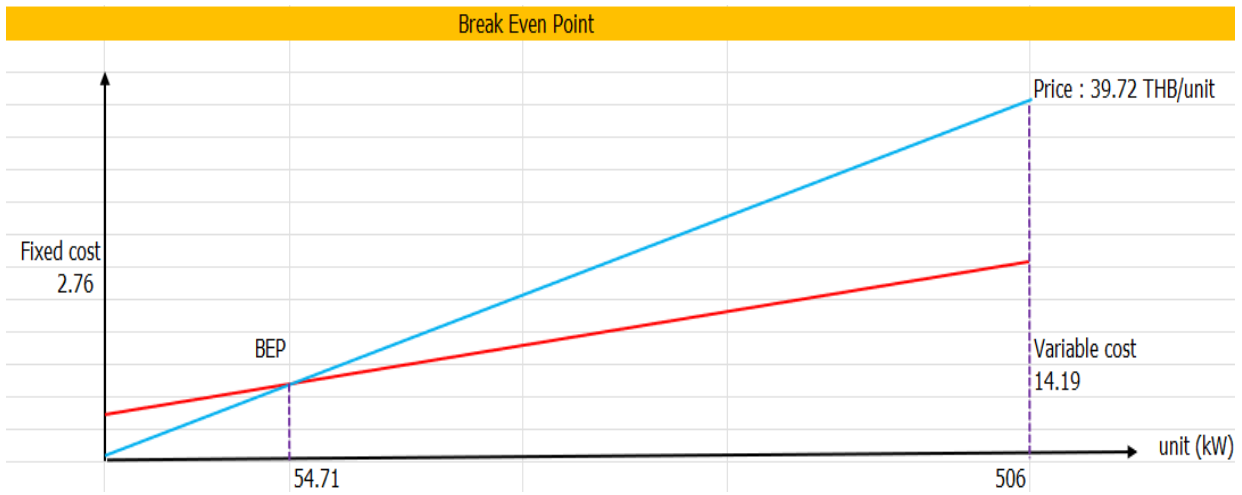


Figure 1 Break Even Point

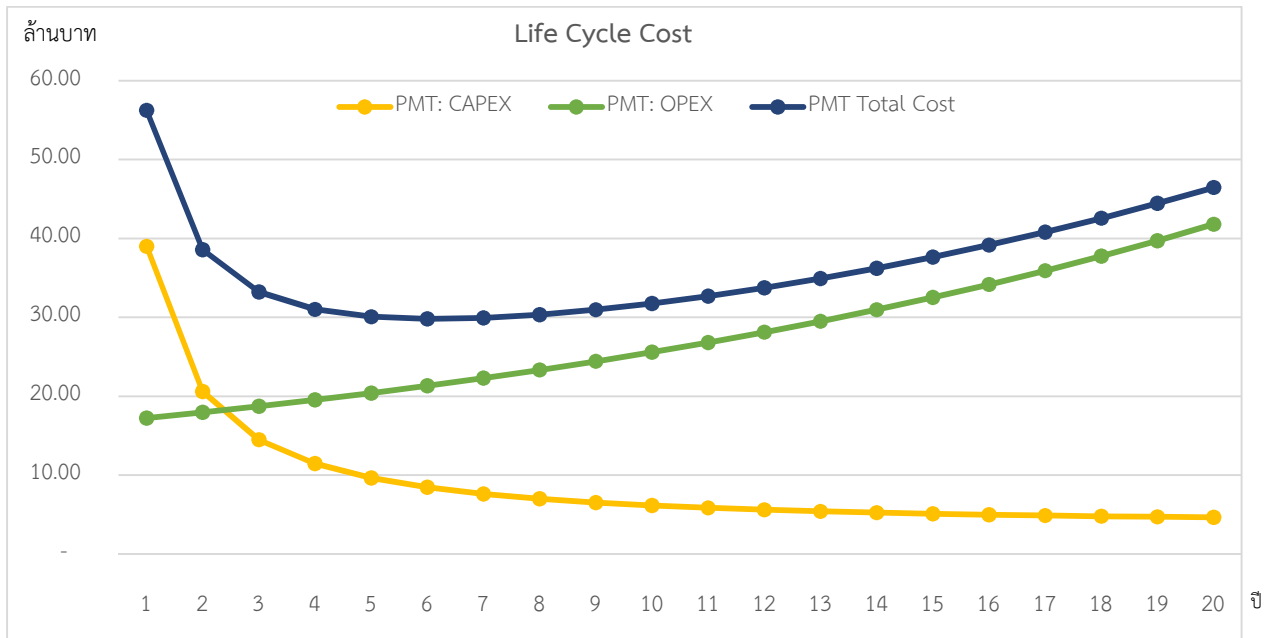


Figure 2 Life Cycle Cost

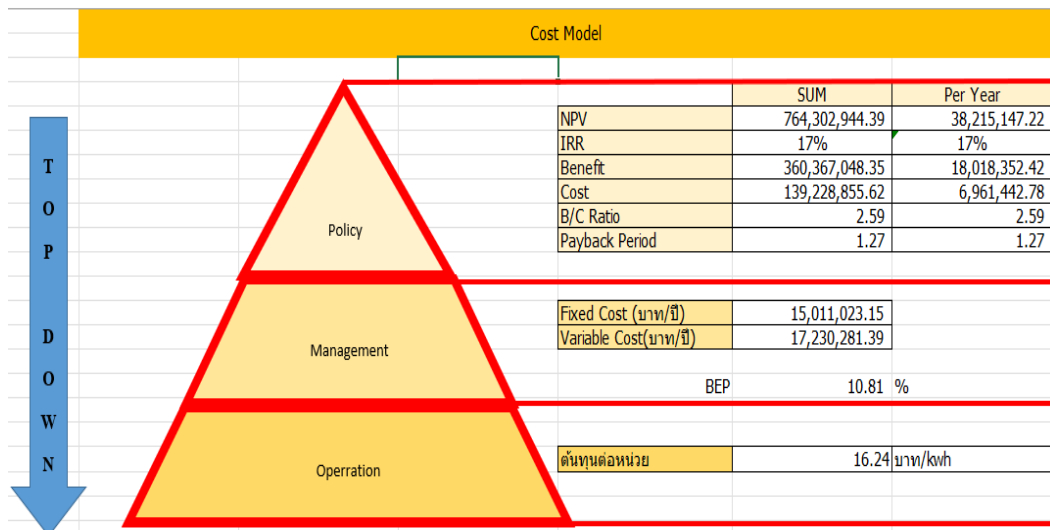


Figure 3 Cost Model

จากการคำนวณ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แต่ละเงื่อนไขได้ดังนี้

- 1) NPV มีค่าเป็นบวก แสดงว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดเข้า มีมากกว่ากระแสเงินสด
- 2) IRR อยู่ที่ 17% แสดงว่า การลงทุนมีอัตราผลตอบแทน ที่สูงเมื่อเทียบกับอัตราผลตอบแทน

ที่ต้องการ

- 3) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BenefitCost) มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าการลงทุน มีสัดส่วนผลตอบแทนมากกว่ารายจ่าย
- 4) Payback Period มีค่า แสดงว่า การลงทุนมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วมาก 1.27

#### 4. ผลการวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม

##### 4.1 คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง โดยคิดเฉพาะปริมาณการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งเท่านั้น โดยไม่คิดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอย version 2 ซึ่ง Institute for Global Environmental Strategies (IGES) ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งอ้างอิงหลักการคำนวณที่ระบุไว้ใน 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste (IPCC, 2006)

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง สามารถคำนวณโดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{Emissions}_T = \frac{\text{Fuel (Units)}}{\text{Waste (tonnes)}} \times \text{Energy (MJ/unit)} \times \text{EF (kgCO}_2\text{/MJ)} \quad (1)$$

โดยที่	Emissions <sub>T</sub>	คือ ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการขนส่ง (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันที่ขนส่ง)
	Fue	คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการขนส่งต่อเดือน (ลิตร/กิโลกรัม)
	Waste	คือ ปริมาณชีวมวลที่ขนส่งต่อเดือน (ตันต่อเดือน)
	Energy	คือ ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงฟอสซิล (เมกะจูลต่อลิตร/กิโลกรัม)
	EF	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล (คาร์บอนไดออกไซด์ต่อเมกะจูลกิโลกรัม)

**Table 5** Monthly Greenhouse Gas Emissions from Transportation: Results Based on a Calculation Program for Municipal Solid Waste Management Activities version 2

Parameter	Unit	Value
Amount of Water Hyacinth Transported Using Diesel-Powered Trucks	ton/month	538
Amount of Diesel Fuel Used for the Transportation of Water Hyacinth	liter/month	97.8
Amount of Greenhouse Gas Emissions from Transporting Water Hyacinth by Diesel-Powered Trucks	kgCO <sub>2</sub> e/t	0.49
Amount of Direct Greenhouse Gas Emissions from Transporting Water Hyacinth	kgCO <sub>2</sub> e/t	0.49
Total Amount of Greenhouse Gas Emissions from Transportation	tCO <sub>2</sub> e/onth	0.26

### 1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการใช้ไฟฟ้า

สามารถคำนวณโดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{Emissions}_{\text{Operation}} = (\text{FC} \times \text{NCV}_{\text{FF}} \times \text{EF}_{\text{CO}_2}) + (\text{EC} \times \text{EF}_{\text{el}}) \quad (2)$$

โดยที่  $\text{Emissions}_{\text{Operation}}$  คือ ก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงาน (ตัน/กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์)

FC	คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการดำเนินงาน (ตัน /มวล หรือปริมาตร)
$\text{NCV}_{\text{FF}}$	คือ ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ (หน่วยมวล/เมกกะจูล)
$\text{EF}_{\text{CO}_2}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (เมกกะจูล/กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์)
EC	คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินงาน (ตันขยะอินทรีย์/เมกกะวัตต์ชั่วโมง)
$\text{EF}_{\text{el}}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (กิโลวัตต์ชั่วโมง/กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

### 1.2 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า

โดยใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักแบบไร้อากาศ สามารถคำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$\text{Avoidance GHG}_{\text{Electricity}} = C_{\text{Biogas}} \times P_{\text{CH}_4} \times E_{\text{CH}_4} \times \frac{1}{\text{CF}_{\text{Energy}}} \times E_{\text{Powerplant}} \times \text{EF}_{\text{el}} \quad (3)$$

โดยที่	$\text{Avoidance GHG}_{\text{Electricity}}$	คือ ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพ (ตัน/กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
	$C_{\text{Biogas}}$	คือ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ต่อตัน (ตัน/ลูกบาศก์เมตร)
	$P_{\text{CH}_4}$	คือ เปอร์เซ็นต์ของมีเทนในก๊าซชีวภาพ (%)
	$E_{\text{CH}_4}$	คือ ปริมาณพลังงานของก๊าซมีเทน (ลูกบาศก์เมตร/เมกกะจูล)
	$\text{CF}_{\text{Energy}}$	คือ ค่าการแปลงหน่วยที่แปลงพลังงานของก๊าซมีเทนเป็นไฟฟ้า (3.6 เมกกะจูล/กิโลวัตต์ชั่วโมง)
	$E_{\text{Powerplant}}$	คือ ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า (%)
	$\text{EF}_{\text{el}}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลวัตต์ชั่วโมง)

**Table 6** Parameters for Greenhouse Gas Emission Calculations in Biogas Fermentation Processes

Parameter	Unit	Value
CH <sub>4</sub>	g CH <sub>4</sub> /kg DW	2
Biogas Production from Water Hyacinth	m <sup>3</sup> /ton DM	592
Methane Concentration in Biogas	%	60
Calorific Value of Methane	MJ/m <sup>3</sup>	37
Total Volume of Methane Gas	m <sup>3</sup> /ton	177.60
Volume of Methane Released into the Atmosphere	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton	1.49
Volume of Methane Collected	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton	176.11
Energy Yield from Produced Biogas	MJ/ton	6515.98
Biogas Utilization for Electrical Power Generation	kWh/ton	633.50
Greenhouse Gas Emission Reduction from Power Generation	kg CO <sub>2</sub> -eq/ton	358.56

**Table 7** Results of Greenhouse Gas Emission Calculations from Biogas

Parameter	Unit	Value
Total amount of water hyacinth used for biogas fermentation	ton/month	538
Approximate moisture content of water hyacinth entering the system	%	60
Electricity	kilowatt-hours/ ton	506.80
Direct greenhouse gas emissions from biogas fermentation	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	16.80
Avoided greenhouse gas emissions from electricity generation	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	286.85
Avoided greenhouse gas emissions from organic waste landfilling	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	576.19
Net greenhouse gas emissions from biogas fermentation	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	-846.24
Total greenhouse gas emission reduction from biogas fermentation	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/month	-455.28

**Note :** A negative value indicates that the amount reduced exceeds the amount emitted

**Table 8** Results of the calculation of net greenhouse gas emissions from biogas, using a greenhouse gas emissions calculation program for solid waste management activities version 2

Activity	Unit	Net greenhouse gas emissions
Transportation	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	0.49
Biogas fermentation	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	897.56-
Total greenhouse gas emission reduction from the entire system	kilograms of CO <sub>2</sub> equivalent/ton	897.07-
Total greenhouse gas emissions per month	Tons of CO <sub>2</sub> generated from water hyacinth management per month	482.62-

**Note :** A net negative value indicates the potential to reduce greenhouse gas emissions more than the amount emitted

จากกระบวนการใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานทางเลือกจากชีวมวล โดยหมักแบบไร้อากาศ หรือการหมักก๊าซชีวภาพ (Anaerobic digestion) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ คือ -482.62 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเดือน กล่าวคือ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 5,791.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ทางด้านพลังงานสำหรับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบถังกวนต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor, CSTR) มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาในประเทศไทย โดยผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากตัวชี้วัดด้านการเงิน สามารถสรุปผลได้ว่ามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดเข้ามีมากกว่ากระแสเงินสด มี อัตราผลตอบแทน (IRR) อยู่ที่ 17% แสดงว่า การลงทุนมีอัตราผลตอบแทนที่สูงเมื่อเทียบกับอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ ซึ่งการลงทุนมีสัดส่วนผลตอบแทนมากกว่ารายจ่าย และมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วมาก (มีค่า 1.27) ส่วนผลการวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ผลิตพลังงานพบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 5,791.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานบริหารกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่ช่วยประสานงานในการนำส่งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันยุทธศาสตร์สิ่งแวดล้อมโลก Institute for Global Environmental Strategies (IGES) ที่สนับสนุนโปรแกรมคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอย version 2 ให้ผู้วิจัยได้ใช้ในงานวิจัยนี้

## REFERENCES

- Booddachan K. and Wannapakhea S. (2013). Household Biogas from Water Hyacinth. The Fifth International Conference on Science. pages 4-6.
- Sudhakar K, Ananthakrishnan R, and Goyal A. (2013). Biogas Production from a mixture of Water Hyacinth, Water Chestnut and Cow Dung, International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). Volume 2. Issue 1. pages. 35-37.
- Sukarni et al. (2019). Physical and Chemical Properties of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a Sustainable Biofuel Feedstock. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 515.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม องค์การสวนพฤกษศาสตร์. (2566). ฐานข้อมูลพรรณไม้ “ผักตบชวา” .  
 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018). กระทรวงพลังงาน: กรุงเทพฯ.
- จิราภรณ์ แก้วเตี้ยว, จุฑารัตน์ พวนทัต และศิรินุช จินดารักษ์การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวา (2562) .  
 .เชียงใหม่ .วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ .ร่วมกับชুমะพร้าว
- พิทักษ์ สมบุต, (2561). รายงานการวิจัยเรื่องกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา. มหาวิทยาลัย  
 ราชภัฏมหาสารคาม. มหาสารคาม.
- วิริยะ อนันต์ประดิษฐ์. (2560). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผักตบชวาเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดัน  
 สารอินทรีย์. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
- วิริยะ อนันต์ประดิษฐ์. (2560). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผักตบชวาเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดัน  
 สารอินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน บัณฑิตวิทยาลัย  
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- โองการ วณิชชิวะวิทยานิพนธ์ .ลักษณะพันธุกรรมของวัชพืชชุกกรานต่างถิ่นผักตบชวาในประเทศไทย .(2558) .  
 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- ธนชัย ยิ่งยี่น และคณะการศึกษาศักยภาพการผลิตไบโอแก๊สของพืชเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับ .(2552) .  
 .กรุงเทพมหานคร .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .ชุมชน