

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย ของอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์

พริยา กาญจนจกกล¹ และ พัชรภรณ์ ผู้อินทร์เที่ยง^{1*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

*Patcharaporn.phu@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

ตะกอนบำบัดน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียจัดเป็นตะกอนอินทรีย์ที่มีศักยภาพด้านพลังงานสูง โดยมีคุณสมบัติสำคัญในการนำไปผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด คือ มีความชื้นสูงมาก มีปริมาณสารอินทรีย์สูง มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน มีความร้อนอยู่ในระดับปานกลาง งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองนำเอาตะกอนบำบัดน้ำเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นประโยชน์จากตะกอนของเสีย และเป็นการทดแทนการใช้พลังงานจากธรรมชาติ โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของตะกอนด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าพื้นผิวของตะกอนมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ มีช่องว่าง และรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM-EDS และเครื่อง XRD สอดคล้องกัน พบองค์ประกอบโดยรวมของกากตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยธาตุหลักทั้งหมด 3 ชนิด คือ Si, Al, และ Ca แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เหมาะสมกับการเผาไหม้เป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด และผลการทดสอบลักษณะการเผาไหม้ของอัตราส่วนต่าง ๆ ระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและซีลี้อยไม้สัก (ST) พบว่า ที่อัตราส่วน 25:75 ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดที่ 17.24 ± 0.84 MJ/kg และมีค่าความชื้นร้อยละ 1.29 ± 0.24 โดยมวล มีแต่มีปริมาณเถ้าสูง ร้อยละ 16.04 ± 0.59 โดยมวล ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสียที่เป็นของเสียที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่เพิ่มมูลค่าได้ สภาวะพลังงานรูปแบบอื่นที่ช่วยลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล และช่วยลดมลภาวะทางอากาศได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เชื้อเพลิง ชีวมวล กากตะกอน



Production of Densified Biomass Fuel from Sludge Derived from Brewery Wastewater Treatment Systems

Piraya Kanjanajongkol^{1*} and Patcharaporn Phuinthiang¹

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

*Patcharaporn.phu@rmutr.ac.th

Abstract

Wastewater treatment sludge is classified as an organic sludge with high energy potential. Its key properties for biomass pellet production include very high moisture content, high organic matter content mainly composed of carbon, hydrogen, and nitrogen, and a moderate heating value. This research investigated the utilization of wastewater sludge from the beer brewing industry to produce biomass pellets, aiming to valorize waste sludge and substitute natural energy sources. The morphological characteristics of the sludge were analyzed using a Scanning Electron Microscope (SEM), which revealed an irregular surface featuring numerous voids and micro-cracks. The results from SEM-EDS and XRD analyses were consistent, indicating that the overall composition of the wastewater sludge consisted of 3 major elements: Si, Al, and Ca. These findings demonstrate that the sludge used in this study is suitable for combustion as a raw material for biomass pellets. Furthermore, combustion characteristic tests of various ratios between the wastewater sludge and teak sawdust showed that the 25:75 ratio yielded the highest heating value of 17.24 ± 0.84 MJ/kg, with a moisture content of 1.29 ± 0.24 wt% and an ash content of 16.04 ± 0.59 wt%. The experimental results indicate that wastewater sludge is a viable waste material that can be developed into value-added biomass pellets, serving as an alternative energy form that reduces dependence on fossil fuels and mitigates air pollution in the future.

Keywords: Pellets, Fuel, Biomass, Sludge

1. บทนำ

การเติบโตของอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในไทยนำมาซึ่งปัญหาน้ำเสีย โดยการผลิตเบียร์ 1 ลิตร จะเกิดน้ำเสียเฉลี่ยสูงถึง 4–10 ลิตร [1] และเกิดกากตะกอนในรูปน้ำหนักรวมประมาณ 0.2–0.3 กิโลกรัม (เทียบเท่าสัดส่วนน้ำหนักรวม 0.04–0.075 กิโลกรัมต่อลิตร) [2, 3] ตะกอนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ เกิดจากขั้นตอนการล้าง ต้ม หมัก และล้างอุปกรณ์ ซึ่งมีสารอินทรีย์สูง (คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ยีสต์ และฮอป) เมื่อผ่านการบำบัดทางชีวภาพ เช่น Activated Sludge หรือ Anaerobic Treatment จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์และโตขึ้นเป็นมวลชีวภาพ [3, 4] จัดเป็นตะกอนอินทรีย์ที่มีศักยภาพด้านพลังงานสูงเนื่องจากมีค่า Volatile Solids สูง มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบหลัก และมีความร้อน ระดับปานกลางเมื่อทำให้แห้ง แม้จะมีความชื้นสูง (มากกว่า 80%) ก็ตาม จึงเหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์แทนการฝังกลบ เช่น ทำปุ๋ย ผลิตก๊าซชีวภาพ หรือแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [2, 3, 5]

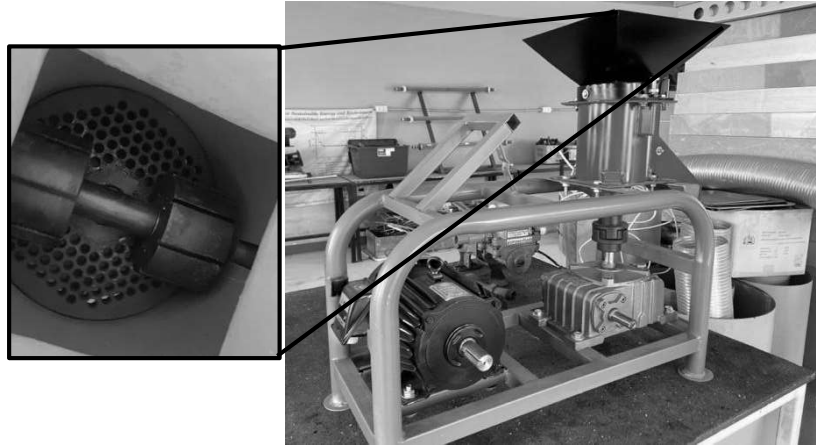
พลังงานชีวมวล ผลิตจากสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานธรรมชาติ จำแนกได้เป็น พืชเกษตรกรรม, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, เนื้อไม้และเศษไม้, เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย, ขยะมูลฝอย/มูลสัตว์ และสิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น สาหร่าย [6, 7, 8] เนื่องจากความต้องการพลังงานในประเทศเพิ่มขึ้นแต่แหล่งพลังงานลดลง ภาครัฐจึงสนับสนุนการผลิตพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่มีอยู่มากในประเทศ เพื่อทดแทนถ่านไม้และฟืน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัสดุเหล่านี้ต้องผ่านกระบวนการแปรรูป ได้แก่ การบดย่อย การผสม การอัดแท่ง และการตากแห้ง เพื่อทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนต่อไป

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำตะกอนบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเบียร์แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี และนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยทำวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียก่อนนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด และวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จากกากตะกอนน้ำเสียด้วย เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ได้จากของเสียที่มีคุณภาพ ลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

2. วิธีวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ทำการนำกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียมาจากโรงงานผลิตเบียร์แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

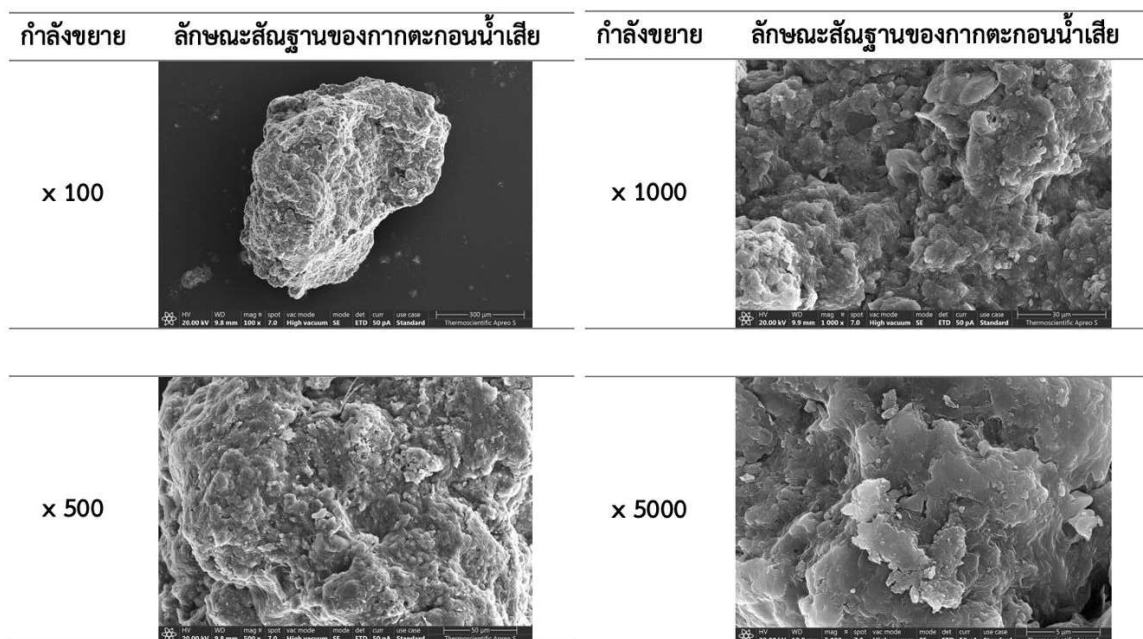
- 1) นำกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียมาตากแห้ง 2-3 วัน และนำไปป่นให้ละเอียด
- 2) นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของกากตะกอนด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) และเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)
- 3) การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดใช้เครื่องอัดเม็ดของวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (ภาพที่ 1) โดยใช้อัตราส่วนของกากตะกอนผสมกับขี้เลื่อยไม้ ดังนี้ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0
- 4) นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ได้ ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 5) นำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผ่านการอบ ไปวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter, ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงมาตรฐานด้วยวิธี ASTM D3173, และค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงมาตรฐานด้วยวิธี ASTM D3174



ภาพที่ 1 ภาพเครื่องอัดเม็ด สำหรับขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

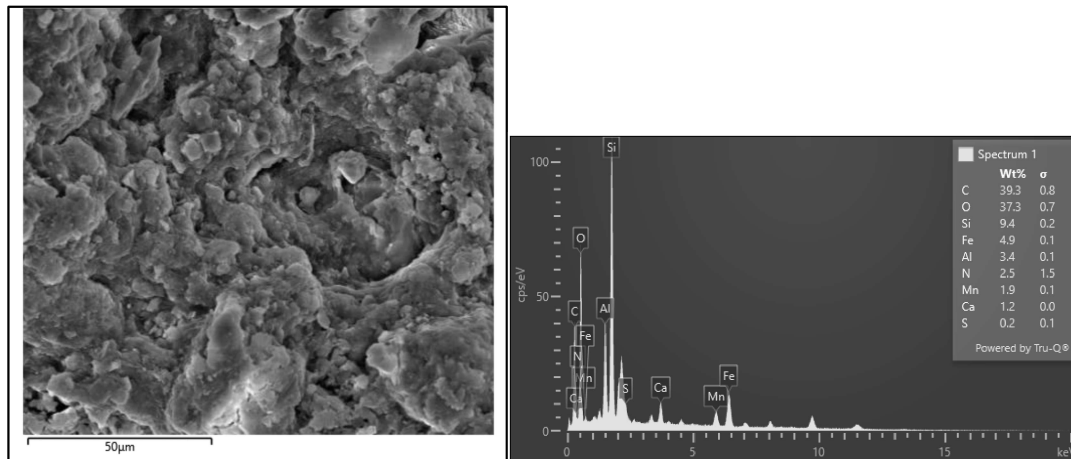
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการนำตะกอนไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ด้วยเครื่องมือ SEM เพื่อถ่ายภาพลักษณะสัณฐานของกากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทำการถ่ายภาพที่กำลังขยาย $\times 100$, $\times 500$, $\times 1000$, และ $\times 5000$ พบว่ากากตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยกลุ่มก้อนที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอและพื้นผิวขรุขระ ซึ่งบ่งชี้ถึงเนื้อสัมผัสที่ซับซ้อนและโครงสร้างเป็นชั้นทับถมกัน ซึ่งภาพถ่ายแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายลักษณะสัณฐานของกากตะกอนน้ำเสีย ด้วยเครื่องมือ SEM

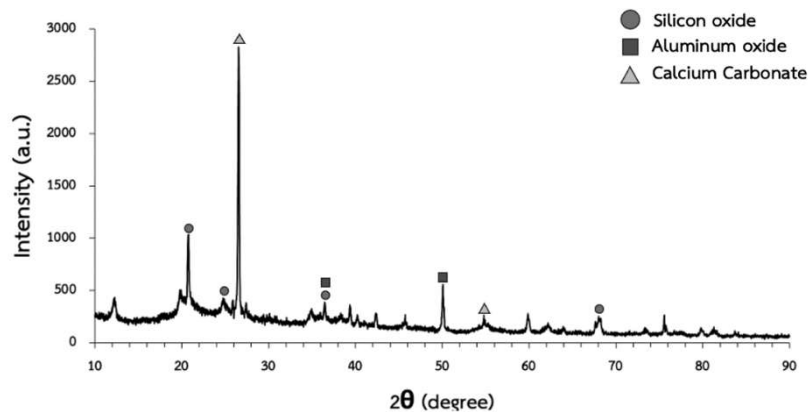
ปริมาณร้อยละต่าง ๆ ของธาตุที่อยู่ในกากตะกอนน้ำเสียทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ESD ซึ่งแสดงในภาพที่ 4 รายละเอียดค่าเฉลี่ยร้อยละของธาตุที่อยู่ในกากตะกอนน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์ EDS เผยให้เห็นว่าตะกอนมีคาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) สูง รวมทั้งยังมี Si และ Al ในปริมาณที่รองลงมา และมี Ca ในปริมาณเล็กน้อย



ภาพที่ 4 ภาพรายละเอียดต่าง ๆ ของธาตุที่อยู่ในกากตะกอนน้ำเสียที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ESD

ผลการวิเคราะห์ตะกอนน้ำเสียด้วยเครื่อง XRD พบว่าธาตุที่พบ คือ Silicon oxide (SiO_2), Aluminum oxide (Al_2O_3), และ Calcium Carbonate (CaCO_3) แสดงดังภาพที่ 5 โดยยอดสูงสุดอยู่ที่ $2\theta \approx 26.5^\circ$ และยอดรองลงมาที่ $\approx 54.5^\circ$ แสดงถึงเฟสของ CaCO_3 และที่ยอด $\approx 21.3^\circ$, 24.5° , 36.2° , และ 68.1° แสดงถึงเฟสของ SiO_2 และยอดที่พบอย่างเห็นได้ชัดคือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 36.2^\circ$, และ 50.1°

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ EDS ซึ่งแน่ชัดได้ว่าธาตุหลักที่พบในกากตะกอนน้ำเสียมีทั้งหมด 3 ชนิด คือ Si, Al, และ Ca แสดงถึงการเป็นเชื้อเพลิงที่ดี โดยมีผลการวิจัย พบว่าการมีธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ ช่วยให้ระบบเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่อเนื่องและยาวนานขึ้น [9]



ภาพที่ 5 ภาพธาตุในกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ตรวจพบจากเครื่อง XRD

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสีย ทำการผสมกับซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 ได้แสดงในภาพที่ 6 ทำการวัดค่าปริมาณความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิง กำหนดปริมาณความชื้นโดยการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในปริมาณ 1 กรัม ทำการอบที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ส่วนการวัดค่าปริมาณเถ้า กำหนดปริมาณของเชื้อเพลิง 1 กรัม และทำการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 650°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีปริมาณความชื้นและค่าปริมาณเถ้า ดังตารางที่ 1 ผลการทดสอบพบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในทุกอัตราส่วนมีค่า

ความชื้นที่เหมาะสม ไม่เกิน 6-8 ร้อยละโดยมวลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) ในขณะที่ปริมาณเถ้ามีค่าสูงกว่ามาตรฐานทุกอัตราส่วน หากใช้งานในอนาคตควรมีการปรับอัตราส่วน หรือนำวัสดุอื่นมาเพิ่มเติม เพื่อลดค่าปริมาณเถ้าลง อย่างไรก็ตามหากมีการควบคุมมลพิษทางอากาศที่ดี การนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียยังสามารถทำได้



ภาพที่ 6 ภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียต่อขี้เลื่อยไม้ในอัตราส่วนต่าง ๆ

สำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่า ขี้เลื่อยไม้มีค่าความร้อน เท่ากับ 21.16 ± 0.76 MJ/kg ใกล้เคียงกับงานวิจัย [10] สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด : ขี้เลื่อยไม้ ที่อัตราส่วน 25:75 มีค่าความร้อนสูงสุด เท่ากับ 17.24 ± 0.84 MJ/kg และที่อัตราส่วน 75:25 เท่ากับ 17.00 ± 0.43 MJ/kg ซึ่งค่าความร้อนที่ได้มีผลการทดสอบ ใกล้เคียงกับขี้เลื่อยไม้ ผลการทดสอบมากกว่าฟางข้าว [11] และเปลือกถั่วลิสง [12] แสดงให้เห็นว่าการปรับอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับขี้เลื่อยไม้ทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสีย 0:100 ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 13.10 ± 0.66 MJ/kg ผลดังกล่าวแสดงถึงศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียที่ดี และเหมาะสมนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนในอนาคต

ตารางที่ 1 แสดงค่าความร้อน, ค่าความชื้น, และค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอน : ขี้เลื่อยไม้	HHV (MJ/kg)	ค่าความชื้น (ร้อยละ โดยมวล)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ โดยมวล)
0:100	21.16 ± 0.76	1.54 ± 0.32	5.98 ± 0.24
25:75	17.24 ± 0.84	1.29 ± 0.24	16.04 ± 0.59
50:50	15.96 ± 0.35	5.25 ± 0.44	16.99 ± 0.63
75:25	17.00 ± 0.43	1.93 ± 0.33	27.09 ± 0.30
100:0	13.10 ± 0.66	3.63 ± 0.41	35.21 ± 0.46

4. สรุปผล

ผลของงานวิจัยนี้เน้นย้ำถึงคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นอีกหนึ่งแนวทางเลือกที่ยั่งยืนในการใช้ประโยชน์จากของเสีย และจากการวิเคราะห์ผล แสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสีย ประกอบด้วยสารประกอบทั้งอนินทรีย์และอินทรีย์ ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางเคมีเชิงความร้อนทั่วไปของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ติดไฟได้ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดต่อขี้เลื่อยไม้ที่อัตราส่วน 25:75 มีค่าความร้อนสูงที่สุดอยู่ที่ 17.24 ± 0.84 MJ/kg และที่อัตราส่วน 75:25 ค่าความร้อนเท่ากับ

17.00 ± 0.43 MJ/kg ซึ่งใกล้เคียงกับ แสดงให้เห็นถึงค่าความร้อนที่ดี และมีความชื้นที่เหมาะสม แม้มีค่าปริมาณเถ้าที่สูง แต่หากควบคุมมลพิษทางอากาศ หรือนำวัสดุอื่น ๆ มาร่วม ทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียมีคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ดี และเป็นพลังงานทดแทนฟอสซิลที่ยั่งยืนในอนาคต

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Caliskan, G., Giray, G., Gundogdu, T. K., & Azbar, N. (2014). Anaerobic biodegradation of beer production wastewater at a field scale and exploitation of bioenergy potential of other solid wastes from beer production. *International Journal of Renewable Energy & Biofuels*, 2014, 1–15.
- [2] Mussatto, S. I., Dragone, G., Roberto, I. C. (2006). Brewer's spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1–14.
- [3] Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., Daufin, G. (2006). Water wastewater and waste management in brewing industries. *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 463–471.
- [4] Metcalf and Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- [5] Appels, L., Baeyens, J., Degreè, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781.
- [6] Knowledge Sharing. (2021). *Biogas Energy/Biomass Energy*.
- [7] Choorit, W. & Wisarnwan, P. (2007). Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3), 376–385.
- [8] Hossain, A. B. M. S., Salaheldeen, M., Aroua, M. K., (2008). Biodiesel fuel production from algae as renewable energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 4(3), 250–254.
- [9] Pronobis, M. (2006). The influence of biomass co-combustion on boiler fouling and efficiency. *Fuel*, 85(4), 474–480.
- [10] Wattana, W., Montri N., Wongjanakul, M., Naratta, Y., Duangjinda, S. (2020). Influence of blending proportions of teak sawdust and cajuput leaves on characteristics of biomass pellets. *E3S Web of Conferences*, 187, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018703001>
- [11] Jiang, L., Yuan, X., Xiao, Z., Liang, J., Li, H., Cao, L., & Zeng, G. (2016). A comparative study of biomass pellet and biomass-sludge mixed pellet: Energy input and pellet properties. *Energy Conversion and Management*, 126, 509–515. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.035>
- [12] Nie, Y., Song, X., Shan, M., & Yang, X. (2024). Effect of pelletization on biomass thermal degradation in combustion: A case study of peanut shell and wood sawdust using macro-TGA. *Energy and Built Environment*, 6, 920–929. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2024.04.002>