

การปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงผสมจากกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าว

IMPROVING THE PROPERTIES OF CO-FUEL PELLETS FROM SEWAGE SLUDGE AND RICE STRAW

กฤติเดช ดวงใจบุญ

Krittidej Duangjaiboon

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร

¹ Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College 46 Charunsanitwong Rd., Wat Thapra Bangkokyai, Bangkok

*Corresponding author, E-mail : krittidej@smartenergysaving.co.th

Received: December 11, 2025

Revise: December 27, 2025

Accepted: December 27, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียที่มีค่าความร้อนต่ำและแตกหักง่ายเนื่องจากไม่มีตัวประสานในการยึดเกาะภายในโครงสร้าง ด้วยการใช้ฟางข้าวเป็นส่วนผสมในเม็ดเชื้อเพลิงผสมร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย โดยการศึกษาจะทำการอัดเม็ดเชื้อเพลิงผสมออกเป็น 5 สัดส่วน และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ รวมทั้งประเมินผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ 2 รูปแบบ ได้แก่ระดับห้องปฏิบัติการและระดับอุตสาหกรรม และจะใช้ค่า NPV, IRR, B/C และระยะเวลาคืนทุนเป็นดัชนีชี้วัด โดยผลจากการศึกษาพบว่าการใช้ฟางข้าวเป็นส่วนผสมร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียสามารถเพิ่มค่าความร้อนได้ ซึ่งจะเพิ่มตามสัดส่วนของฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น HHV 12.56 – 17.19 MJ/kg รวมถึงสัดส่วนฟางข้าวที่มากขึ้นช่วยเพิ่มความทนทานให้กับเม็ดเชื้อเพลิงผสมเนื่องจากมี lignin ที่เป็นตัวประสานในการยึดเกาะโครงสร้าง ช่วยลดโอกาสที่เม็ดเชื้อเพลิงจะแตกหักเสียหายได้เป็นอย่างดี ในส่วนการประเมินผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าการใช้เม็ดเชื้อเพลิงผสมในระดับปฏิบัติการตั้งแต่สัดส่วน SS50 : RS50 ขึ้นไปจะมีผลตอบแทนที่ดี โดยมีค่า NPV 6,060.29 – 48,328.03 บาท, IRR 4.97 – 31.19%, B/C 105.17 – 144.64%, และระยะเวลาคืนทุน 3.00 – 7.94 ปี ส่วนการใช้เม็ดเชื้อเพลิงผสมในระดับอุตสาหกรรมตั้งแต่สัดส่วน SS65 : RS35 ขึ้นไปจะมีผลตอบแทนที่ดี โดยมีค่า NPV 14,393,556.80 – 43,271,672.47 บาท, IRR 8.75 – 23.64%, B/C 111.11 – 135.17%, และระยะเวลาคืนทุน 2.85 – 3.96 ปี

คำสำคัญ: กากตะกอนน้ำเสีย, ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์, ฟางข้าว, เม็ดเชื้อเพลิงผสม

Abstract

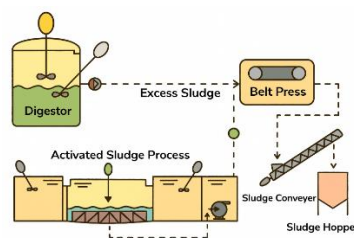
This study investigates an approach to improving the properties of fuel pellets derived from wastewater sludge, which typically exhibit low heating values and poor mechanical strength due to the absence of natural binding components within their structure. Rice straw was incorporated as a co-feedstock in the production of mixed sludge-based fuel pellets. Five mixing ratios were formulated and pelletized, after which their physical and energy-related properties were analyzed. In addition, an economic feasibility assessment was conducted at both laboratory and industrial scales using NPV, IRR, B/C ratio, and payback period as key performance indicators.

The results indicate that the incorporation of rice straw enhances the heating value of the mixed pellets, with the value increasing proportionally to the rice straw content HHV 12.56–17.19 MJ/kg. Higher proportions of rice straw also significantly improved pellet durability due to the presence of lignin, which acts as a natural binder that strengthens the structural cohesion of the pellets, thereby reducing the likelihood of breakage. From the economic evaluation, it was found that mixed fuel pellets at laboratory scale begin to show favorable economic returns from the SS50:RS50 ratio onward, yielding an NPV of 6,060.29–48,328.03 THB, an IRR of 4.97–31.19%, a B/C ratio of 105.17–144.64%, and a payback period of 3.00–7.94 years. At the industrial scale, positive economic feasibility was observed starting from the SS65:RS35 ratio, with an NPV of 14,393,556.80–43,271,672.47 THB, an IRR of 8.75–23.64%, a B/C ratio of 111.11–135.17%, and a payback period of 2.85–3.96 years.

Keywords: sewage sludge, financial return, rice straw, CO-fuel pellets

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกน้ำกระป๋อง จะมีกากของแข็งที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่สะสมและก่อตัวกันเรียกว่ากากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งกากตะกอนนี้เป็นสิ่งที่จะต้องทำการกำจัดทิ้ง โดยวิธีที่ผ่านมามีคือโรงงานได้ทำการรวบรวมกากตะกอนให้ได้ปริมาณที่เพียงพอและส่งต่อไปยังหน่วยงานที่รับกำจัดกากตะกอนน้ำเสียภายนอก ซึ่งการส่งออกไปกำจัดจะมีค่าใช้จ่ายที่เป็นภาระให้กับทางโรงงานเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกน้ำกระป๋อง

ที่ผ่านมาทางโรงงานมีความพยายามนำเอากากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ โดยวิธีที่เหมาะสมก็นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำชีวมวลที่เป็นต้นกำลังของโรงงานเอง ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเดิมที่เป็นถ่านหินลงได้บางส่วน แต่เนื่องจากองค์ประกอบหลักของกากตะกอนน้ำเสียมาจากสารอินทรีย์เป็นหลัก รวมทั้งการใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นเชื้อเพลิงไม่ได้ขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงจึงมีความหนาแน่นน้อย ส่งผลให้ค่าความร้อนของกากตะกอนน้ำเสียจึงมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่โรงงานใช้เป็นเชื้อเพลิงหลัก



รูปที่ 2 กากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกน้ำกระป๋อง



รูปที่ 3 ฟางข้าวที่เป็นของเหลือใช้จากการเกษตร

จากปัญหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกากตะกอนน้ำเสียจากที่กล่าวข้างต้น จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงค่าความร้อนให้เพิ่มขึ้นด้วยการผสมชีวมวลจากฟางข้าวที่เป็นของเหลือใช้จากการเกษตรและอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงโดยแบ่งออกเป็นสัดส่วนต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนและผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการนำของเสียมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญและที่มาของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียเป็นของเสียประเภทของแข็งที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานอาหารทะเล โรงงานทอผ้า และอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ส่งผลให้เกิดกากตะกอนในปริมาณมาก การนำกากตะกอนไปกำจัด เช่น ฝังกลบหรือเผาโดยไม่ใช้ประโยชน์ มักก่อให้เกิดต้นทุนสูงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การแปรรูปกากตะกอนให้เป็น เชื้อเพลิงอัดเม็ด เป็นการเพิ่มมูลค่าสินทรัพย์เหลือทิ้ง (Value-added Waste) โดยสอดคล้องกับ

- แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)
- Waste-to-Energy
- นโยบายลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียสามารถใช้ทดแทนพลังงานในหม้อไอน้ำ เตาอบ เตาเผาอุตสาหกรรม หรือระบบผลิตไอน้ำที่ต้องใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ชีวมวล

2.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี (Chemical & Physical Properties)

แม้ว่ากากตะกอนจะมีความชื้นสูงในรูปแบบดิบ แต่หลังจากกระบวนการทำแห้งและอัดเม็ดแล้วจะเกิดคุณสมบัติสำคัญดังนี้

2.2.1 ค่าความร้อน (Calorific Value)

- ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 8–15 MJ/kg (กากตะกอนน้ำเสียทั่วไปมีมีสารอินทรีย์ผสมอยู่)
- ในกรณีผสมวัสดุชีวมวลร่วม เช่น แกลบ ค่าความร้อนอาจสูงขึ้นถึง 15–18 MJ/kg

2.2.2 องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis)

โดยทั่วไปกากตะกอนจากโรงงานอาหารมีลักษณะทั่วไป

- Carbon (C): 30–50%
- Hydrogen (H): 4–7%
- Nitrogen (N): 3–6%
- Sulfur (S): 0.3–1.0%

2.2.3 องค์ประกอบขี้เถ้า (Ash Content)

- อาจสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลทั่วไป (10–40%)
- มีผลต่อการเกิดตะกอนและการจัดการขี้เถ้าภายหลังการเผาไหม้

2.2.4 ความหนาแน่น (Bulk Density)

- ประมาณ 600–900 kg/m³ ช่วยลดต้นทุนขนส่งและสะดวกต่อการจัดเก็บ

2.3 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับชีวมวล

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับชีวมวล” หมายถึง เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแบบผสม (Co-pelletized Solid Biofuel) ที่ได้จากการนำ กากตะกอนน้ำเสีย (Sewage Sludge) มาผสมกับ วัสดุชีวมวล ที่มีค่าความร้อนสูง เช่น แกลบ ขี้เลื่อย กะลาปาล์ม หรือเศษไม้บด เพื่อปรับปรุงสมบัติทางพลังงานและสมบัติทางกายภาพ ก่อนผ่านกระบวนการทำแห้ง บด และอัดขึ้นรูปตามมาตรฐานกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด (Pelletization Process)

ตามหลักการออกแบบเชื้อเพลิงในมาตรฐาน ISO 17225 (Solid Biofuels — Fuel Specifications and Classes) และ มอก. 2772 (เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด) วัสดุเชื้อเพลิงแบบผสมถูกจัดอยู่ในหมวด Non-Woody Pellet Fuels หรือ Alternative Biofuel Blends โดยกำหนดให้มีการควบคุมค่าความชื้น (Moisture), ปริมาณเถ้า (Ash), ค่าความร้อน (Calorific Value) และองค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในระบบผลิตความร้อนและระบบหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม

จากงานวิจัยส่วนใหญ่มีความเห็นตรงกันว่ากากตะกอนน้ำเสียเพียงอย่างเดียวมีข้อจำกัดคุณสมบัติ เช่น ความชื้นสูง ค่าความร้อนต่ำ และปริมาณเถ้า/โลหะหนักสูง (Werther & Ogada, 1999; Fytli & Zabaniotou, 2008) อีกทั้งการใช้กากตะกอนน้ำเสียเพียงอย่างเดียวขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงยากจึงไม่เหมาะต่อการอัดเม็ดโดยมีตัวประสาน การผสมชีวมวลซึ่งมีโครงสร้างลิกนินสูงจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะและความแข็งแรงของเม็ดเชื้อเพลิง (Mechanic Durability) และเพิ่มการติดไฟเมื่อใช้งาน (Pedersen et al., 2017)

2.4 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

- งานวิจัยของ Werther & Ogada (1999) พบว่ากากตะกอนน้ำเสียมีค่าความร้อนเพียงพอสำหรับเป็นวัสดุเชื้อเพลิง และเมื่อผสมกับชีวมวลอื่นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้
- Fytli & Zabaniotou (2008) รายงานว่าการอัดเม็ดช่วยเพิ่มความหนาแน่น ลดความชื้น และทำให้การเผาไหม้มีเสถียรภาพมากขึ้น
- Pedersen et al. (27) แสดงว่าการเผาไหม้กากตะกอนอัดเม็ดร่วมกับไม้สามารถลดการเกิดโลหะหนักในปล่องได้
- งานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (KMUTT) พบว่ากากตะกอนจากอุตสาหกรรมอาหารมีค่าความร้อนสูงกว่าอุตสาหกรรมทั่วไป
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่รายงานว่ากากตะกอนอัดเม็ดเมื่อใช้ร่วมกับแกลบสามารถเสริมประสิทธิภาพการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำได้ดี
- สวทช. (NSTDA) ศึกษาถ่านลิกไนต์ในกากตะกอนก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

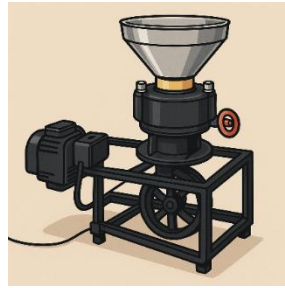
สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ จะมีขั้นตอนในการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับฟางข้าวในการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงตามอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดไว้ เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

3.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงผสม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับฟางข้าวในการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงตามอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดไว้ เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

• การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงผสม

ขั้นตอนนี้จะเป็นการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงผสมด้วยวิธีการอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง (ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแบบคงที่) โดยเตรียมวัตถุดิบของกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าวให้มีความพร้อมต่อการอัดขึ้นรูปก่อน โดยการศึกษาครั้งนี้จะใช้ฟางข้าวผสมกับกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการไล่ความชื้นเพื่ออัดขึ้นรูปตามสัดส่วนที่ระบุไว้ดังตารางที่ 1 ซึ่งจะต้องนำวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดมาลดความชื้นให้มีค่าไม่เกิน 35% (ความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมและง่ายต่อการอัดขึ้นรูปจะอยู่ที่ 20-30% ซึ่งจะใช้เครื่องวัดความชื้นในการตรวจวัด) ก่อนอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

ตารางที่ 1 สัดส่วนระหว่างกากตะกอนน้ำเสียต่อฟางข้าว (%)

อัตราส่วน	กากตะกอนน้ำเสีย (%)	ฟางข้าว (%)
1	0	100
2	50	50
3	65	35
4	75	25
5	100	0

สำหรับการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนฟางข้าวเป็นหลักเพียงชนิดเดียว มีความจำเป็นจะต้องใช้ตัวประสานในการอัดขึ้นรูปเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของวัสดุให้มากขึ้น (ในเม็ดเชื้อเพลิงผสมสัดส่วนต่างๆ จะมีกากตะกอนน้ำเสียซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานช่วยเสริมการยึดเกาะ) ดังนั้นในสัดส่วนดังกล่าว จะใช้น้ำแฉะเป็นตัวประสานในปริมาณ 25 %wt. (250-300 ml.) โดยประมาณ

- การวิเคราะห์องค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิงผสม

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วย ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณสารระเหยง่าย (Volatile Matter) ตามมาตรฐาน ASTM E871, ASTM E872 และ ASTM D1102

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) การวิเคราะห์องค์ประกอบนี้จะเป็นการเป็นการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงผสมตามมาตรฐาน ASTM D 5373 และ ASTM D 4239

3. วิเคราะห์หาความร้อนของตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงผสมด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) การวิเคราะห์หาความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงผสม จะใช้เครื่องมือและวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์หาความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C6000

- การวิเคราะห์หาปริมาณส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (Non-Combustion)

เม็ดเชื้อเพลิงผสมรวมสามารถวิเคราะห์หาปริมาณค่าส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (Non-Combustion) โดยนำตัวอย่างที่เหลือจากการเผาไหม้ที่เหลือจากกระบวนการวิเคราะห์หาความร้อนด้วยการชั่งน้ำหนักและคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้} = \left(\frac{A}{B} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

A คือ น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างหลังเผา (g)

B คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

- การวิเคราะห์หาค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสม

สำหรับการหาค่าความทนทานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการประเมินอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์การแตกหัก โดยการทดสอบนี้จะปฏิบัติตามมาตรฐานทดสอบ DIN EN 15210-1 (รูปที่ 5) มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

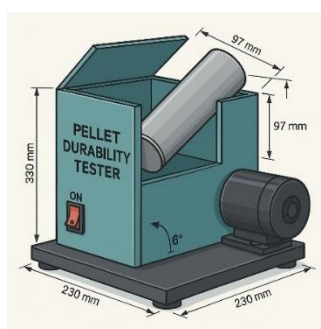
- นำเม็ดเชื้อเพลิงผสมจำนวน 500 g ลงในกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาด (300 X 300 X 125) mm. ด้านในมีใบกวนทดสอบการหมุนที่ความเร็วรอบ 50 rpm. เป็นเวลา 10 min.
- นำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 3.15 mm. และชั่งน้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงผสม
- คำนวณอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์การแตกหักจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแตกหัก} = \left(\frac{WF}{WI} \right) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

WF คือ น้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงผสมหลังการทดสอบ (g)

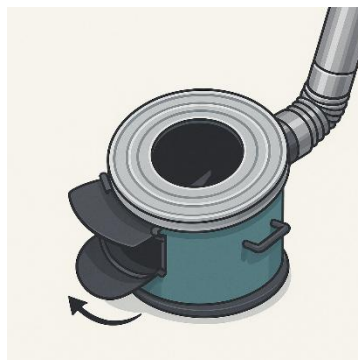
WI คือ น้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงผสมก่อนการทดสอบเริ่มต้น (g)



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบความทนทานเม็ดเชื้อเพลิง

- การศึกษาองค์ประกอบแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงผสม

ศึกษาองค์ประกอบแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงผสม ด้วยเตาเผาระดับปฏิบัติการ (รูปที่ 6) ที่ช่วงอุณหภูมิ 250-350 °C โดยทำการตรวจวัดแก๊สไอเสียได้แก่ CO₂, SO₂, NO_x, NO₂ ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สรุ่น testo 350 โดยจะควบคุมสภาวะในการเผาไหม้ให้มีค่าที่และใกล้เคียงกับเตาเผาหรือหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง โดยจะทำการทดสอบการเผาไหม้จากตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงผสมครั้งละ 30 นาที และใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สจากการเผาไหม้ยี่ห้อ TESTO รุ่น 350 ตรวจวัดองค์ประกอบของแก๊สไอเสียประมาณ 1 นาที



รูปที่ 6 เตาเผาระดับปฏิบัติการสำหรับทดสอบการเผาไหม้

3.2 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสม

สำหรับการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิตลอดอายุของโครงการ เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit - Cost}{(1+i)^t} \quad (3)$$

สำหรับการคำนวณอัตราผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+IRR)^t} - \frac{Cost}{(1+IRR)^t} \quad (4)$$

สำหรับการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{\frac{Benefit}{(1+i)^t}}{\frac{Cost}{(1+i)^t}} \quad (5)$$

โดยที่

NPV	คือ	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ (Baht)
B/C	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (%)
IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (%)
Benefit	คือ	มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (Baht)
Cost	คือ	มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (Baht)
i	คือ	อัตราคิดลด (Discount Rate) (ไม่คิดอัตราดอกเบี้ย)
t	คือ	ปีของโครงการ
n	คือ	อายุของโครงการ (yrs)

สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ปีสุดท้ายที่ยังไม่ได้รับเงินลงทุนคืนปลายงวด} + \frac{\text{เงินลงทุนที่ยังไม่ได้รับคืนต้นงวด}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (6)$$

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงผสม

- การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงผสม

ในขั้นตอนนี้จะทำการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและชีวมวลได้แก่ฟางข้าวและขี้เลื่อย ด้วยการอัดขึ้นรูปแบบเป็นตามสัดส่วนต่างๆ จำนวน 5 ตัวอย่าง และจะมีการใช้น้ำแบ่งเป็นตัวอย่าง

ประมาณ 25 %wt. (250-300 ml.) เฉพาะเม็ดเชื้อเพลิง SS0 : RS100 เนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงผสมดังกล่าวไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ (เม็ดเชื้อเพลิงผสมสัดส่วนอื่นๆ ไม่มีการใช้ตัวอย่าง เนื่องจากมีตะกอนน้ำเสียเป็นตัวช่วยประสาน) โดยการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงผสมดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนระหว่างกากตะกอนน้ำเสียต่อฟางข้าว

ลำดับ	อัตราส่วน (ร้อยละของน้ำหนัก)		ตัวอย่าง	เม็ดเชื้อเพลิง
	กากตะกอน(%)	ฟางข้าว (%)		
1	0	100	SS0 : RS100	
2	50	50	SS50 : RS50	
3	65	35	SS65 : RS35	
4	75	25	SS75 : RS25	
5	100	0	SS100	

- ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิงผสม

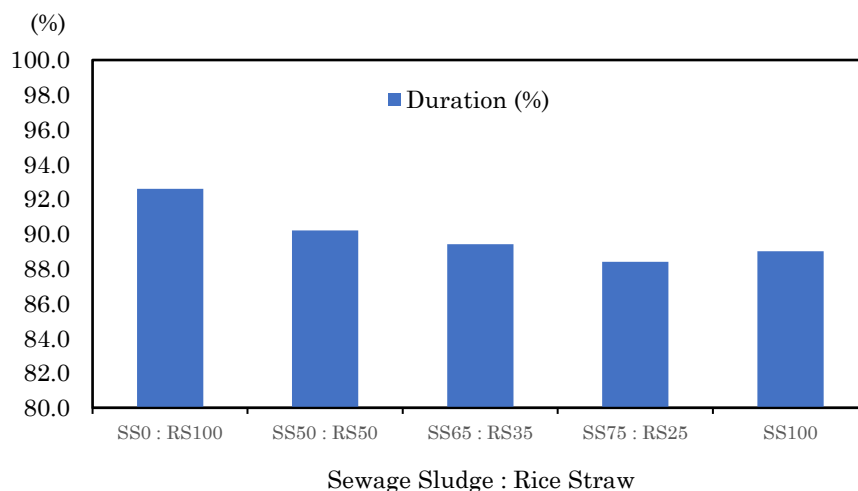
จากข้อมูลผลการวิจัยในตารางที่ 3 เป็นผลการวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ องค์ประกอบธาตุและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียกับฟางข้าว จากผลการวิเคราะห์พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสมทุกสัดส่วนจะมีองค์ประกอบเป็นสารระเหยง่าย (Volatile Matter) และความชื้นเป็นองค์ประกอบหลัก โดยปริมาณสารระเหยง่ายจะแปรผันตามปริมาณสัดส่วนฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น โดยเม็ดเชื้อเพลิงผสมจะมีสัดส่วนของสารระเหยง่ายเป็นลำดับแรก ลำดับรองลงมาจะเป็นสัดส่วนของความชื้น ที่เหลือจะเป็นสัดส่วนของเถ้าและคาร์บอนคงตัว ซึ่งจะไม่แตกต่างกันในเม็ดเชื้อเพลิงผสมแต่ละสัดส่วน สำหรับองค์ประกอบธาตุของเม็ดเชื้อเพลิงผสมทุกสัดส่วนนั้นจะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอนที่มีปริมาณมากเป็นลำดับแรก รองลงมาจะเป็นธาตุไฮโดรเจนและลำดับสุดท้ายจะเป็นธาตุไนโตรเจนและธาตุซัลเฟอร์ที่มีปริมาณไม่มากนัก

และจากผลวิเคราะห์ยังพบอีกว่าค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิง จะแปรผันตามธาตุคาร์บอนที่อยู่ในเม็ดเชื้อเพลิงผสม โดยเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่มีสัดส่วนของฟางข้าวมากจะมีค่าธาตุคาร์บอนสูงตามไปด้วย และค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงผสมจะเรียงลำดับจากสัดส่วนมากไปหาน้อยตามลำดับ โดยเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่มีค่าความร้อนสูงสุดคือ SS0 : RS100 และเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่มีค่าความร้อนต่ำสุดคือ SS100 ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้ทราบได้ว่า หากใช้เชื้อเพลิงผสมจากกากตะกอนน้ำเสียเพียงอย่างเดียวจะทำให้เม็ดเชื้อเพลิงผสมมีค่าต่ำ แต่หากต้องการเพิ่มค่าความร้อนให้มากขึ้น สามารถทำได้ด้วยการเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าว ก็จะสามารถแก้ปัญหาค่าความร้อนในเม็ดเชื้อเพลิงผสมต่ำลงได้ และเม็ดเชื้อเพลิงผสมในทุกสัดส่วนนั้นยังมีข้อดีอีกอย่างคือมีปริมาณธาตุซัลเฟอร์ที่ต่ำมาก ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับงานวิจัยของ Ersel Yilmaz และคณะ (Ersel et al., /จค) และ Longbo Jiang และคณะ (Longbo et al., 2014) เมื่อนำไปเผาแล้วจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอีกด้วย

ตารางที่ 3 วิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ องค์ประกอบธาตุและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียกับฟางข้าว

Parameter	กากตะกอนน้ำเสีย : ฟางข้าว						ที่มา
	SS0 : RS100	SS50 : RS50	SS65 : RS35	SS75 : RS25	SS100	ค่ามาตรฐาน	
Proximate analysis (%Weight)							
Moisture	5.50(±1.75)	21.68(±1.72)	33.56(±1.94)	40.12(±1.80)	47.91(±1.64)	-	-
Volatile Matter	86.02(±1.65)	65.48(±1.45)	52.06(±1.36)	43.26(±1.67)	37.38(±1.59)	-	-
Ash	8.34(±1.24)	9.52(±1.65)	9.17(±1.44)	7.75(±1.71)	8.34(±1.62)	<20.00	กรมโรงงาน
Fixed Carbon	0.14(±1.17)	3.33(±1.02)	5.21(±1.53)	8.88(±1.77)	7.22(±1.77)	>15.00	อุตสาหกรรม
Ultimate analysis (%Weight)							
C	40.55(±0.93)	36.68(±1.32)	29.02(±0.59)	18.08(±0.87)	39.71(±0.05)	-	-
H	7.01(±0.31)	5.34(±0.18)	4.56(±0.32)	7.73(±0.81)	6.94(±0.02)	-	-
N	0.00(±0.00)	1.27(±0.01)	1.29(±0.02)	0.54(±0.06)	5.58(±1.82)	-	กรมโรงงาน
S	0.00(±0.00)	1.00(±0.01)	1.12(±0.05)	1.00(±0.09)	1.01(±0.04)	<2.00	อุตสาหกรรม
Calorific value (MJ/kg)							
HHV	17.19(±0.21)	14.59(±0.23)	14.14(±0.26)	13.61(±0.33)	12.56(±0.39)	12.56	กรมโรงงาน อุตสาหกรรม
Non-Combustion (%Weight)							
Non-Combustion	9.10	7.90	8.30	7.70	12.70	-	-
Duration (%Weight)							
Duration	92.60	90.20	89.40	88.40	89.00	96.00	มอก.

- ผลการวิเคราะห์หาความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสม
การทดสอบนี้จะนำเชื้อเพลิงผสมแต่ละสัดส่วนมาวิเคราะห์หาความทนทานตามมาตรฐานทดสอบ DIN EN 15210-1 โดยผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าว

จากรูปที่ 7 คือผลการวิเคราะห์ความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าว จากการวิเคราะห์พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของฟางข้าวสูง จะมีความแข็งแรงและทนทานต่อการเสียหายได้ดี โดยสัดส่วน SS0 : RS100 จะมีความทนทานสูงสุดอยู่ที่ 92.6% และค่าความทนทานนี้จะเริ่มลดลงเมื่อสัดส่วนของฟางข้าวมีค่าน้อยลงตามไปด้วย โดยเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่สัดส่วน SS75 : RS25 จะมีค่าความทนทานต่ำสุดอยู่ที่ค่า 88.4% ทั้งนี้สาเหตุของความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสมมาจาก lignin ที่อยู่ในฟางข้าวจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดติดเส้นใยของ cellulose ให้อยู่

ด้วยกัน ดังนั้นหากมีปริมาณ lignin ในเม็ดเชื้อเพลิงผสมมากจะส่งผลต่อความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงให้สูงมากขึ้นตามไปด้วย

- ผลการศึกษาองค์ประกอบแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงผสม

การทดสอบนี้จะนำเชื้อเพลิงผสมแต่ละสัดส่วนมาวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สไอเสียหลังจากการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงผสม โดยผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาองค์ประกอบแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงผสมสัดส่วนต่างๆ

Parameter	กากตะกอนน้ำเสีย : ฟางข้าว				
	SS0 : RS100	SS50 : RS50	SS65 : RS35	SS75 : RS25	SS100
NO _x (ppm)	0	0	0	0	1.3
NO ₂ (ppm)	0	0	0	0	1.3
CO ₂ (%)	6.47	4.02	3.91	4.28	5.05
SO ₂ (ppm)	0	0	0	0	67
T Flue (°C)	193.7	198.3	200.1	204.3	219.0
T Amb (°C)	35.1	35.1	35.3	35.4	35.1

จากตารางที่ 4 เป็นการศึกษาองค์ประกอบแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนต่างๆ โดยจะเปรียบเทียบค่าที่ได้จากตรวจวัดกับค่ามาตรฐานของมลสารสำคัญที่ยินยอมให้ระบายออกจากปล่องตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2549 ได้แก่ NO_x, NO₂ และ SO₂ ซึ่งจะอ้างอิงกับเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหลัก โดยผลจากการตรวจวัดแก๊ส NO_x และ NO₂ ซึ่งผลจากการตรวจวัดพบว่าเชื้อเพลิงผสมทุกสัดส่วนมีค่าต่ำและอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐาน (NO_x, NO₂ < 200 ppm) ซึ่งมีสาเหตุมาจากเม็ดเชื้อเพลิงผสมทุกสัดส่วนมีปริมาณ N ต่ำ ประกอบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 250-350 °C ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมแก๊ส NO_x และ NO₂ นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดแก๊ส SO₂ ซึ่งผลจากการตรวจวัดพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสมทุกสัดส่วนจะมีค่า SO₂ ต่ำและอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐาน (SO₂ < 60 ppm) ยกเว้นสัดส่วน SS100 ที่ขึ้นรูปมาจากกากตะกอนน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของ S ดังนั้นเมื่อนำมาเผาไหม้จึงมีโอกาที่จะก่อให้เกิดแก๊ส SO₂ ขึ้นได้

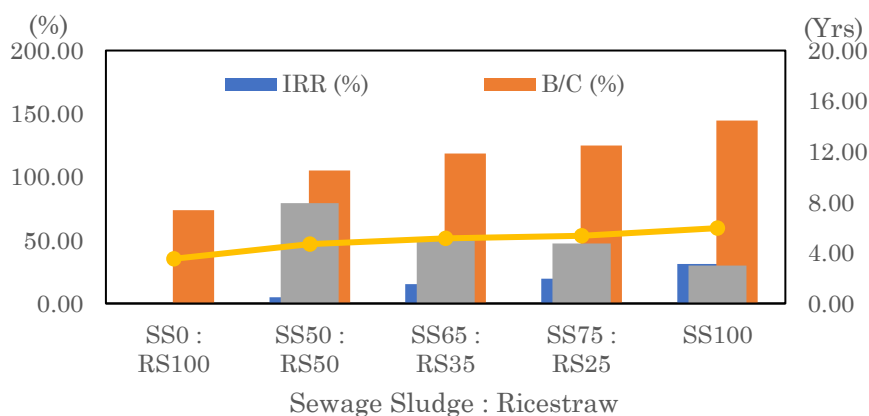
4.2 ผลการศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสม

การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสมทดแทนการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงเป็นการสรุปผลการศึกษาของผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับฟางข้าวสัดส่วนต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ดัชนีชี้วัดคือ 4 ค่า ได้แก่ ผลตอบแทนรวมสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนการเงินภายใน (Internal Rate of Return : IRR) อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit/Cost : B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) โดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่สัดส่วนต่างๆ ประกอบด้วยตัวแปร 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 2 ตัวแปรด้านการลงทุนประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงผสมระดับห้องปฏิบัติการ (Investment Cost) ที่มีกำลังการผลิต (Capacity) 1.00 kg/hr ใช้งบลงทุน 20,650.00 Baht ในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงมีต้นทุนการผลิตได้แก่ค่าวัตถุดิบ (Material Cost) กรณีซื้อเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 0.20 Baht/kg ค่าใช้จ่ายในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงได้แก่ค่าไฟฟ้าและค่าแรง (Operating Cost) คิดที่ 1.00 Baht/kg และส่วนที่ 2 คือตัวแปรด้านผลตอบแทนได้แก่รายได้จากการลดการกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย (Disposal Cost) ซึ่งมีมูลค่า 1.00 Baht/kg ซึ่งผลการศึกษาจะแสดงดังตารางที่ 5 และรูปที่ 8 โดยผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าวที่สัดส่วนต่างๆ โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วน SS100 เมื่อใช้งานเพื่อทดแทนการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงแล้ว จะมีผลประโยชน์ค่าใช้จ่ายรวม 59.58% และได้รับ

ผลตอบแทนในรูปของผลประโยชน์จากการลดค่าใช้จ่ายรวมได้สูงสุด (1.79 บาท/kg) มีค่า NPV 48,328.03 บาท IRR 31.19% B/C 144.64% และมี PB 3.00 yrs สำหรับเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่มีผลตอบแทนรองลงมาคือ SS75 : RS25 , SS65 : RS35 และ SS50 : RS50 ตามลำดับ ซึ่งผลตอบแทนนี้เป็นผลรวมระหว่างผลประโยชน์จากการลดการใช้ถ่านหินและผลประโยชน์จากการลดค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย ดังนั้นเมื่อสามารถใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของกากตะกอนน้ำเสียมาก ก็จะสามารถลดค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียซึ่งถือว่าเป็นผลตอบแทนอีกทางได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสมมีความคุ้มค่ามากขึ้นตามไปด้วย แต่เม็ดเชื้อเพลิงผสมสัดส่วน SS0 : RS100 มีผลประโยชน์ค่าใช้จ่ายรวมและผลตอบแทนทางการเงินต่ำมาก เมื่อใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนดังกล่าวจึงไม่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 5 ตารางการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่สัดส่วนต่างๆ

Parameter	กากตะกอนน้ำเสีย : ฟางข้าว				
	SS0 : RS100	SS50 : RS50	SS65 : RS35	SS75 : RS25	SS100
Capacity (kg/yr)	8,760.00	8,760.00	8,760.00	8,760.00	8,760.00
Investment Cost (Baht)	20,650.00	20,650.00	20,650.00	20,650.00	20,650.00
Material Cost (Baht/kg)	0.20	0.10	0.07	0.05	0.00
Operating Cost (Baht/kg)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Net Heating Value (MJ/kg)	17.19	14.59	14.14	13.61	12.56
Specific Energy Cost (Baht/MJ)	0.070	0.075	0.076	0.077	0.080
Energy Saving (MJ/kg)	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Energy Saving Cost (Baht/kg)	1.06	0.90	0.90	0.86	0.79
Disposal Cost (Baht/kg)	0.00	0.50	0.65	0.75	1.00
Total Saving Cost (Baht/kg)	1.06	1.40	1.55	1.61	1.79
Total Saving Cost (Baht)	9,285.91	12,306.03	13,552.41	14,068.78	15,657.80
%Energy Saving (%)	35.33	30.16	29.90	28.53	26.25
%Total Saving (%)	35.33	46.83	51.57	53.53	59.58
NPV (Baht)	-32,910.94	6,050.29	21,142.14	28,057.79	48,328.03
IRR (%)	N/A	4.97	15.41	19.67	31.19
B/C (%)	73.83	105.17	118.48	124.91	144.64
Payback Period (yrs)	N/A	7.94	4.98	4.74	3.00



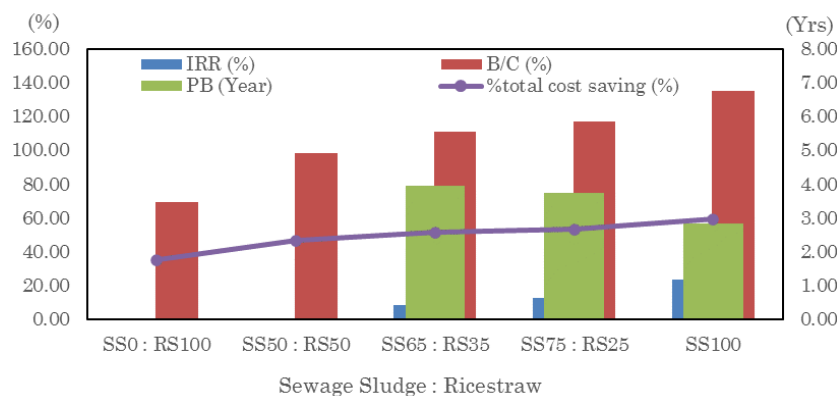
รูปที่ 8 ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าว

จากข้อมูลข้างต้น เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมด้วยการประเมินจากกำลังการผลิตของเครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาในระดับอุตสาหกรรมเพิ่มเติมในกรณีโรงงานแปรรูปปลาทุ่นำกระป๋องตัวอย่างที่มีการใช้หม้อไอน้ำเชื้อเพลิงแข็งสำหรับกระบวนการผลิตขนาด 15.00 ton/hr โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเฉลี่ย 35,000.00 kg/day โดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมในระดับอุตสาหกรรมนี้ประกอบด้วยตัวแปร 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ตัวแปรด้านการลงทุนประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงงานผลิตเม็ดเชื้อเพลิงที่มีกำลังการผลิต 1,500.00 kg/hr เป็นจำนวนเงิน 30,000,000.00 Baht และค่าใช้จ่ายในการอัดเม็ดเชื้อเพลิง ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ (Material Cost) ในกรณีฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 0.20 Baht/kg สำหรับค่าใช้จ่ายในการอัดเม็ดเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าไฟฟ้าและค่าแรง (Operating Cost) คิดที่ 1.00 Baht/kg และส่วนที่ 2 คือตัวแปรด้านผลตอบแทนได้แก่รายได้จากการลดการกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย (Disposal Cost) ซึ่งมีมูลค่า 1.00 Baht/kg และอ้างอิงอัตราดอกเบี้ยของธนาคารกรุงไทยเดือนเมษายน 2564 ที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ = 6.22% ซึ่งผลการศึกษาคงจะแสดงดังรูปและตารางดังต่อไปนี้ โดยผลการศึกษาผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมในระดับอุตสาหกรรมจะเป็นตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระดับอุตสาหกรรมที่สัดส่วนต่างๆ

Parameter	กากตะกอนน้ำเสีย : ฟางข้าว				
	SS0 : RS100	SS50 : RS50	SS65 : RS35	SS75 : RS25	SS100
Capacity (kg/yrs)	12,775,000.00	12,775,000.0	12,775,000.0	12,775,000.0	12,775,000.0
	0	0	0	0	0
	30,000,000.00	30,000,000.0	30,000,000.0	30,000,000.0	30,000,000.0
Investment Cost (Baht)	0	0	0	0	0
Material Cost (Baht/kg)	0.20	0.10	0.07	0.05	0.00
Operating Cost (Baht/kg)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Net Heating Value (MJ/kg)	17.19	14.59	14.14	13.61	12.56
Specific Energy Cost (Baht/MJ)	0.070	0.075	0.076	0.077	0.080
Energy Saving (MJ/kg)	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Energy Saving Cost (Baht/kg)	1.06	0.90	0.90	0.86	0.79
Disposal Cost (Baht/kg)	0.00	0.50	0.65	0.75	1.00
Total Saving Cost (Baht/kg)	1.06	1.40	1.55	1.61	1.79
	13,541,945.90	17,946,291.9	19,763,936.8	20,516,969.1	22,834,295.3
Total Saving Cost (Baht)	8	8	4	8	8
%Energy Saving (%)	35.33	30.16	29.90	28.53	26.25
%Total Saving (%)	35.33	46.83	51.57	53.53	59.58
	-	-	14,393,556.8	21,739,682.2	43,271,672.4
NPV (บาท)	43,024,144.28	1,637,710.21	0	1	7
IRR (%)	N/A	N/A	8.75	12.77	23.64
B/C (%)	69.63	98.76	111.11	117.02	135.17
Payback Period (yrs)	N/A	N/A	3.96	3.76	2.85

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 9 คือผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าวในระดับอุตสาหกรรมที่สัดส่วนต่างๆ โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่าผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าวในระดับอุตสาหกรรม เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการกล่าวคือ เม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วน SS100 เมื่อใช้งานเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน จะมีผลประหยัดค่าใช้จ่ายรวม 59.58% และได้รับผลตอบแทนในรูปของผลประหยัดจากการลดค่าใช้จ่ายรวมได้สูงสุด (1.79 Baht/kg) มีค่า NPV 43,271,672.47 บาท IRR 23.64% B/C 135.17% และมี PB 2.85 yrs สำหรับเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่มีผลตอบแทนรองลงมาคือ SS75 : RS25 และ SS65 : RS35 ตามลำดับ ซึ่งผลตอบแทนนี้เป็นผลรวมระหว่างผลประหยัดจากการลดการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดและผลประหยัดจากการลดค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสีย ดังนั้นเมื่อสามารถใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของกากตะกอนน้ำเสียมาก ก็จะสามารถลดค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียซึ่งถือว่าเป็นผลตอบแทนอีกทางได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสมมีความคุ้มค่ามากขึ้นตามไปด้วย แต่เม็ดเชื้อเพลิงผสมสัดส่วน SS50 : RS50 และ SS0 : RS100 มีผลประหยัดค่าใช้จ่ายรวมและผลตอบแทนทางการเงินต่ำมาก (ค่า NPV มีค่าติดลบ, ค่า B/C ต่ำกว่า 100%) เมื่อใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนดังกล่าวจึงไม่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 9 ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าวระดับอุตสาหกรรม

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย

วัตถุดิบสำหรับเม็ดเชื้อเพลิงผสมจากกากตะกอนน้ำเสีย จะมีสารระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณต่ำสูง เมื่อนำไปเผาจึงมีปริมาณถ่านเหลืออยู่ในปริมาณมาก ในส่วนขององค์ประกอบของธาตุพบว่ากากตะกอนน้ำเสียเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าว กากตะกอนน้ำเสียจะมีปริมาณธาตุคาร์บอนต่ำ จึงทำให้มีค่าความร้อนน้อยกว่าฟางข้าว ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการในการพิจารณานำฟางข้าวมาผสมเพื่อเพิ่มค่าความร้อน

เมื่อนำกากตะกอนน้ำเสียและฟางข้าวมาขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงผสม จะทำให้เม็ดเชื้อเพลิงผสมมีปริมาณสารระเหยง่ายรวมทั้งองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนข้อดีอีกประการของการนำฟางข้าวมาใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียคือ จะเพิ่มความทนทานให้กับเม็ดเชื้อเพลิงผสมซึ่งเกิดจาก lignin ที่อยู่ในฟางข้าว โดยผลจากการทดสอบความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสมพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสม SS0 : RS100 ที่ใช้ฟางข้าวเป็นส่วนผสมหลักแต่เพียงอย่างเดียวจึงทำให้มีปริมาณ lignin ในเม็ดเชื้อเพลิงผสมสูงส่งผลต่อค่าความทนทานที่ดีกว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนอื่นๆ ที่มีค่าต่ำกว่า

สำหรับความคุ้มค่าจากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงผสม จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง SS100 เนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงนี้จะกากตะกอนน้ำเสียมากที่สุด ซึ่งจะได้รับประโยชน์จากการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนอื่นๆ รวมทั้งยังได้รับผลประโยชน์จากค่าความร้อนที่สามารถนำมาทดแทนการใช้ถ่านหิน อย่างไรก็ตามการใช้เม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วน SS100 ถึงแม้จะได้รับประโยชน์จากผลตอบแทนทางด้าน

เศรษฐศาสตร์ที่มีความคุ้มค่าที่สุด แต่จากผลการทดลองค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสมพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วน SS100 นี้กลับมีค่าความทนทานต่ำ เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายกับเม็ดเชื้อเพลิงผสมที่ต้องใช้ระยะเวลาการจับเก็บนานเกินไปก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งต้องอาศัยการบริหารจัดการเรื่องการผลิตและการใช้งานให้สัมพันธ์กัน ดังนั้นหากมีความจำเป็นต้องเก็บรักษาเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตออกมาให้ยาวนานขึ้น อาจพิจารณาเรื่องการเพิ่มสัดส่วนของชีวมวลเพื่อเพิ่มค่าความทนทานของเม็ดเชื้อเพลิงผสมให้สามารถจับเก็บได้ยาวนานมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2772-2562 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด: ข้อกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2562.
- [2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบดอัดประสาน. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม; ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์.
- [3] ASTM International. *Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels (ASTM E872)*. USA: ASTM International; 1982.
- [4] ASTM International. *Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels (ASTM E871)*. USA: ASTM International; 1982.
- [5] ASTM International. *Standard test method for ash in woods (ASTM D1102)*. USA: ASTM International; 2013.
- [6] Jiang L. Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The density and hardness of pellet. *Bioresource Technology*. 2014;166:435–443.
- [7] Kim B. Physical-chemical characterization of sludge and granular materials from a vertical flow constructed wetland for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*. 2013;68(10):2257–2263.
- [8] Grube M. Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy. *Geoderma*. 2006;130:324–333.
- [9] Senesi N. Humic acids in the first generation of EUROSOILS. *Geoderma*. 2003;116:325–344.
- [10] Werther J, Ogada T. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1999;25:55–116.
- [11] Fytli D, Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU: Current practices and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008;12(1):116–140.
- [12] Pedersen AJ, et al. Co-combustion of sludge and biomass: Ash behavior and emissions. *Waste Management*. 2017;70:172–184.
- [13] International Organization for Standardization. *ISO 17225-6:2014 Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 6: Graded non-woody pellets*. Geneva: ISO; 2014.
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2772-2562 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด: ข้อกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2562.