

# การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมปลากระป๋อง

## PRODUCTION OF FUEL PELLETS FROM SEWAGE SLUDGE OF THE CANNED TUNA INDUSTRIES

กฤติเดช ดวงใจบุญ<sup>1</sup> เมตยา กิติวรรณ<sup>2</sup> ปรานค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ<sup>1\*</sup>

Krittidej Duangjaiboon<sup>1</sup> Mettaya Kittivan<sup>2</sup> Prangthip Rittichote Kaewpengkrow<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ (RCSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนเจริญกรุง แขวง/เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพ

<sup>1</sup> Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment (RCSEE), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, 96 Moo 3 Phutthamonthon Sai 5 Rd., Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom,

<sup>2</sup> Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chalongkrung Rd. Ladkrabang District Bangkok

\*Corresponding author, E-mail : [prangtip.kae@rmutr.ac.th](mailto:prangtip.kae@rmutr.ac.th)

### บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่ส่งออกและสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก แต่ในทางกลับกันก็สร้างปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการแก้ปัญหาการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิต ด้วยการนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ถ่านหินในหม้อไอน้ำและยังช่วยประหยัดต้นทุนในการกำจัดของเสียได้อีกทาง โดยการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน ต้นทุนการผลิต รวมถึงความคุ้มค่าจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการนำของเสียมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน โดยผลจากการศึกษาพบว่าเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจากการตะกอนน้ำเสียมีสมบัติที่เหมาะสมจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่านหินเนื่องจากมีองค์ประกอบของคาร์บอนค่อนข้างสูงและไม่มีกำมะถันเจือปน รวมทั้งมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีคือ 12.56 MJ/kg สามารถลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานได้รวม 59.58% และมีผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังต่อไปนี้คือ NPV 48,328.03 บาท, IRR 31.19%, B/C 144.64 % และระยะเวลาคืนทุนที่ 3.0 ปี

**คำสำคัญ:** กากตะกอนน้ำเสีย, ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์, ของเสียเป็นพลังงาน

**Abstract**

The canned tuna processing industries, It is an industry that is exported and generates a lot of income for Thailand. But on the other hand, it also creates environmental problems from the waste produced by the manufacturing process. Therefore, this research focuses on solving the problem of the utilization of sewage sludge from the production process. By being used to produce fuel pellets This can replace the use of coal in boilers and also save the cost of waste disposal. This study will focus on the physical properties, calorific heating value, and financial return of investment cost of using sewage sludge. The results of this study will be a guideline for the best utilization of waste. Both in terms of reduced costs in waste disposal and convert waste to energy. The results of the study showed that the fuel pellets produced from the sewage sludge had suitable properties to be used as a substitute for coal due to the relatively high carbon content and sulfur-free. Including having a good calorific heating value, 12.56 MJ / kg, can reduce total costs, 59.58% and have the following economic returns: NPV 48,328.03 baht, IRR 31.19%, B/C 144.64%, and the payback period is 3.0 years.

**Keywords:** sewage sludge, financial return, waste to energy

**1. บทนำ**

อุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่ากระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากอุตสาหกรรมนี้ทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมากจากการส่งออกปลาทูน่าบรรจุกระป๋องกว่า 10 ประเทศ โดยในปี พ.ศ.2562 มีการตั้งเป้าหมายในการส่งออกคิดเป็นมูลค่า 2,501.9 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งสูงกว่าในปีที่ผ่านมาถึงร้อยละ 10 สะท้อนให้เห็นถึงการเติบโตในอุตสาหกรรมนี้เป็นอย่างยิ่ง ถึงแม้ว่าการเติบโตของอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องในประเทศจะเพิ่มสูงขึ้นก็ตาม แต่กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้กลับสร้างของเสียที่อยู่ในรูปของแข็งและของเหลวและมีความจำเป็นต้องถูกจัดการอย่างเหมาะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งที่ผ่านมามีความพยายามในการนำเอาของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง ได้แก่ เครื่องใน เศษเนื้อดำ หนัง หัวและก้างปลามาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้เพื่อต้องการลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปบำบัดและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ของเสียด้วยการนำไปผลิตเป็นปลาป่นสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามปริมาณของเสียที่เป็นของเหลวและของแข็งที่เหลืออยู่ยังคงมีปริมาณสูง ซึ่งของเสียเหล่านี้จะถูกนำไปเข้าระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดและแยกตะกอนน้ำเสียออกจากน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สาธารณะ แต่กากตะกอนน้ำเสียที่แยกออกมานั้น ปัจจุบันยังไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ส่วนใหญ่จะถูกรวบรวมและส่งไปหน่วยงานที่รับกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย เป็นภาระค่าใช้จ่ายซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนการผลิตให้กับผู้ประกอบการ ที่ผ่านมาหน่วยงานภาครัฐ มีความพยายามที่จะลดต้นทุนในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวให้มีปริมาณลดลง โดยการส่งเสริมให้ความรู้ถึงการนำประโยชน์จากของเสียที่อยู่ในรูปของแข็งมาแปรรูปให้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถลดปริมาณการเกิดตะกอนน้ำเสียลงได้บางส่วน และยังสามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการได้อีกทางหนึ่ง

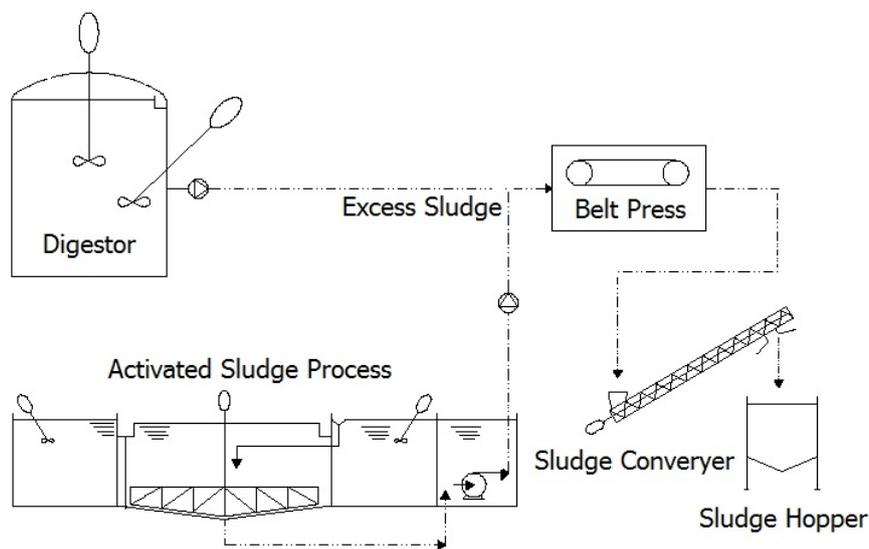
ด้วยปัญหาต้นทุนที่เกิดจากการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่ยังคงเหลือดังที่ได้กล่าวข้างต้น จึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) มาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว ด้วยการนำกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงทดแทนการเชื้อเพลิงถ่านหินในหม้อไอน้ำ โดยการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน ต้นทุนการผลิต รวมถึงความคุ้มค่าจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการนำของเสียมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุบบรรจุกระป๋อง เกิดจากวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบตะกอนเร่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อนเนื่องจากจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

ในปัจจุบันระบบตะกอนเร่งมีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น



รูปที่ 1 Diagram ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

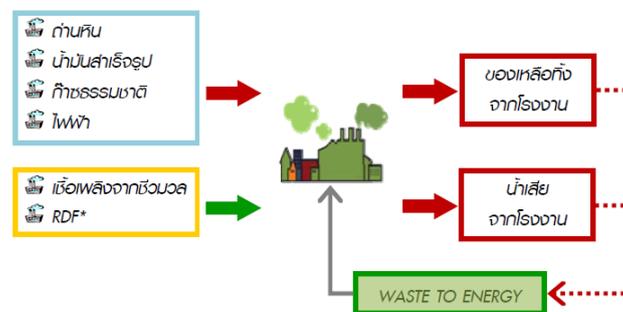
ระบบตะกอนเร่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศซึ่งมีกากตะกอนน้ำเสียอยู่เป็นจำนวนมากตามที่ออกแบบไว้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิก จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกกากตะกอนน้ำเสียออกจากน้ำใสซึ่งน้ำใสส่วนบนนี้จะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ส่วนกากตะกอนน้ำเสียที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่ง จะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของกากตะกอนน้ำเสียในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นกากตะกอนน้ำเสียส่วนเกิน (Excess Sludge) ซึ่งจะถูกรวบรวมและนำไปลดความชื้นและส่งไปกำจัดต่อไป



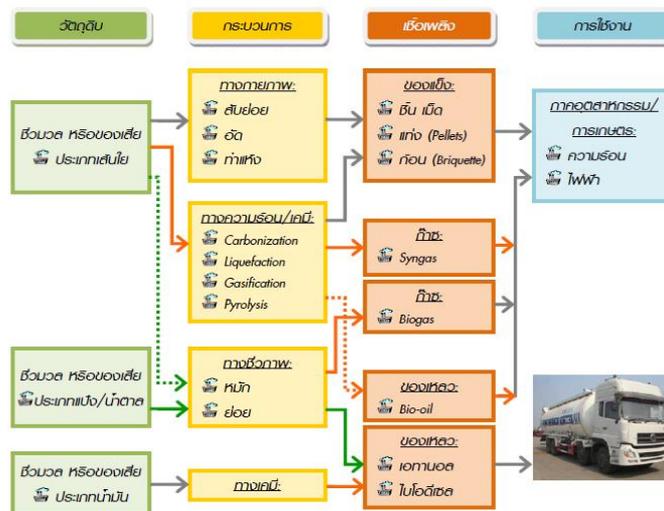
รูปที่ 2 กากตะกอนน้ำเสียจากระบบตะกอนเร่ง

## 2.2 เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE)

ของเสียจากระบวนการผลิตปลาทุ่นบรรจุกระป๋องทั้งในส่วนน้ำเสียและกากของเสีย ยังมีเศษวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปปลาทุ่นบรรจุ และสามารถนำมาผลิตได้จนเป็นระดับอุตสาหกรรม เช่น น้ำสกัดเข้มข้นจากปลา (fish extract) น้ำมันปลา (fish oil) เจลาติน (gelatin) อาหารสัตว์เลี้ยงบรรจุกระป๋อง (canned pet food) แต่ในส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย จำเป็นจะต้องส่งไปกำจัดภายนอกโรงงาน ซึ่งต้องอาศัยหน่วยงานที่รับกำจัดโดยเฉพาะ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียนี้จึงถือภาระต้นทุนค่าใช้จ่ายให้กับโรงงาน เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว การนำกากตะกอนน้ำเสียมาผลิตเป็นพลังงานจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการกำจัดของเสีย (รูปที่ 3) ซึ่งเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) สามารถแบ่งประเภทได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 การจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีการเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน (WTE : Waste to Energy)



รูปที่ 4 กระบวนการแปรรูปของเสียให้เป็นพลังงาน

- เทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment technologies : BTT)
- เทคโนโลยีการบำบัดทางความร้อน (Thermal treatment technologies : TTT)
- เทคโนโลยีการฝังกลบ (Landfill gas utilization)
- เทคโนโลยีการกลั่นเชื้อเพลิง (Biorefineries : waste-to-by-bioproducts)

### 2.3 เกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ของเสียที่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้วกลายเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีสมบัติสูงนอกจากเกณฑ์การพิจารณา ค่าความร้อนแล้ว ยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนของการเผาไหม้ได้ โดยเฉพาะปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูง แต่ต้องมีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ในปริมาณที่ต่ำเนื่องจากทำให้เกิดของเสียในหลอมเผาไหม้ และนอกจากนี้จะต้องมีปริมาณกำมะถันที่น้อยเพื่อไม่ให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศเกณฑ์สมบัติของเสียที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยพิจารณาจากเกณฑ์สมบัติของเสียที่นำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง [1] จะต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้

- ค่าความร้อน ไม่ควรต่ำกว่า 12.52 MJ/kg
- คาร์บอนคงตัว ไม่ควรต่ำกว่า 15%
- เถ้า ไม่ควรเกิน 20%
- กำมะถันรวม ไม่ควรเกิน 2%

### 2.4 เชื้อเพลิงอัดเม็ด

- กระบวนการอัดเม็ด (Densification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง และช่วยลดความชื้นในของเสีย ขณะเดียวกันยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างของของเสียให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งานด้วย กระบวนการอัดเม็ดสามารถแปรรูปของเสียให้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็ก ๆ (Pelleting) อัดเป็นก้อนลูกบาศก์ (Cubing) และอัดเป็นแท่งพิน (Extruded Log)

- ประเภทของเม็ดเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

<http://jeet.siamtechu.net>

- ถ่านอัดเม็ด เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียที่เผาจนเป็นถ่านแล้วนำมาอัดเป็นแท่ง หรืออาจจะนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่านก็ได้
- เชื้อเพลิงเขียว เป็นการนำชีวมวลหรือของเสียมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนถ่านอัดแท่ง

## 2.5 การวิเคราะห์ผลการตอบแทนของเม็ดเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ด้านการเงินและการลงทุนของโครงการ กระทำได้โดยได้ทำการวิเคราะห์หาผลตอบแทนด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการก่อสร้าง การศึกษาและประเมินผลตอบแทนทางการเงินและการลงทุน มีพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ในกาประเมินความเหมาะสมของโครงการด้านการลงทุนดังนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดของโครงการซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยการทำส่วนลดการแสดงผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบันในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

- อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ทำให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น อัตราผลตอบแทนของโครงการจึงได้แก่อัตราดอกเบี้ยหรือ  $i$  ที่ทำให้  $NPV = 0$  สำหรับการคำนวณการคำนวณอัตราผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+IRR)^t} - \frac{Cost}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนหรือมูลค่าผลตอบแทนของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนหรือต้นทุนรวมของโครงการค่าพารามิเตอร์นี้ใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

- ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาการคืนทุน คือระยะเวลาที่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสามารถนำไปชำระเงินที่ใช้ลงทุนในการพัฒนาโครงการได้ครบถ้วน โดยส่วนใหญ่ใช้นับเป็นจำนวนปี โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่ดีกว่าโครงการที่มีระยะคืนทุนยาว สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4)$$

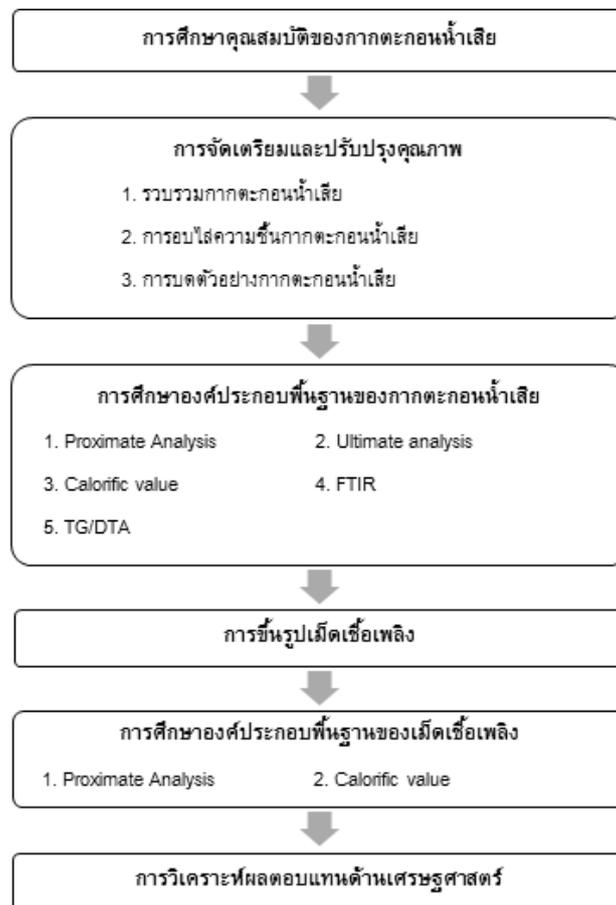
<http://jeet.siamtechu.net>

โดยที่

NPV	คือ	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ (บาท)
B/C	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (%)
IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (%)
Benefit	คือ	มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)
Cost	คือ	มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (บาท)
i	คือ	อัตราคิดลด (Discount Rate) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7.75%
t	คือ	ปีของโครงการ
n	คือ	อายุของโครงการ (ปี)

### 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยสมบัติด้านต่างๆ ของกากตะกอนน้ำเสียที่สำคัญในขณะที่ยังเป็นวัตถุดิบและหลังจากที่ขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงแล้ว ซึ่งการศึกษาดังกล่าวมีรายละเอียดและขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย

<http://jeet.siamtechu.net>

### 3.2 การจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย

ในการศึกษาสมบัติในด้านต่างๆ ของกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นน้ำกระป๋อง จำเป็นจะต้องมีการจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างของกากตะกอนน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทดสอบ จึงต้องมีการจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การรวบรวมกากตะกอนน้ำเสีย

นำตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากเครื่องรีดตะกอน (Filter Press) ของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นน้ำกระป๋องมาเก็บรวบรวมและนำไปผึ่งแห้งประมาณ 1-2 วัน ก่อนนำไปเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 6 กากตะกอนน้ำเสียที่ถูกรีดน้ำจากเครื่องรีด (Filter Press)

- การอบไล่ความชื้นกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการรวบรวมด้วยเครื่องรีดกากตะกอน ถึงแม้ว่าจะผ่านการผึ่งแดดมาแล้ว แต่ส่วนใหญ่พบว่ายังคงมีความชื้นสะสมสูงกว่า 30% (จากการใช้เครื่องมือตรวจวัดค่าความชื้น) ดังนั้นจึงต้องนำไปตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียไปปรับปรุงคุณภาพด้านความชื้นด้วยการใช้ตู้อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นก่อนนำไปศึกษาอยู่ระหว่าง 20-30%

### 3.3 การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสีย

ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้วรวมทั้งชีวมวลที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงผสมอัดแท่ง จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งมี 4 วิธีด้วยกันดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis)

ประกอบไปด้วย ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon มาตรฐาน ASTM E 872) [2] ความชื้น (Moisture มาตรฐาน ASTM E 871) [3] ปริมาณเถ้า (Ash มาตรฐาน ASTM D1102) [4] และปริมาณสารระเหย (Volatile Mater มาตรฐาน ASTM E 872) [2] ด้วยการชั่งหาปริมาณของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียก่อนและหลังการอบด้วยเครื่องชั่งสำหรับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Balances)

- การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบนี้จะเป็นการเป็นการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (Carbon : C) ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen : H) ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen : N) ธาตุกำมะถัน (Sulfur : S) โดยใช้เครื่อง Elemental Analyzer (CHNS Analyzer) ซึ่งเป็นหลักการสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนพลังงาน (Energy Conversion)

<http://jeet.siamtechu.net>

- การวิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค FT-IR

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR นี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์และบ่งชี้ชนิดตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย ด้วยการใช้เทคนิคการกระตุ้นสารอินทรีย์ด้วยพลังงานแสงอินฟราเรด และแปรผลเป็นสเปกตรัมผ่านการคำนวณด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ (Fourier Transform)

- การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA

การวิเคราะห์นี้สามารถอธิบายสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียและชีวมวลได้ในระหว่างให้ความร้อนอุณหภูมิของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงในลักษณะการดูด (Endothermic) หรือการคายความร้อน (Exothermic) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายใน (Enthalpic transition)

### 3.4 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนน้ำเสีย

สำหรับการศึกษาในหัวข้อนี้ จะทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่เก็บรวบรวมและปรับปรุงคุณภาพแล้วรวมทั้งชีวมวลที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับเม็ดเชื้อเพลิงผสม ด้วยเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C6000 โดยเครื่องใช้หลักการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างจะถูกบรรจุอยู่ในตัวรองรับและกระตุ้นด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย

### 3.5 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง

- การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนแรกของการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิง จะทำการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอัดแข็งด้วยแรงอัดสูง (ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแบบคงที่) ซึ่งวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติเพื่อให้โมเลกุลของวัตถุดิบเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ และไม่มี ความจำเป็นที่จะต้องบดวัตถุดิบก่อนเข้าอัด หากวัตถุดิบดังกล่าวไม่ได้มีขนาดใหญ่มากเกินไปนัก โดยก่อนจะทำการอัดขึ้นรูป ต้องเตรียมวัตถุดิบของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียให้มีความพร้อมต่อการอัดขึ้นรูปก่อน ซึ่งจะต้องนำวัตถุดิบมาลดความชื้นให้มีค่าไม่เกิน 35% ด้วยการผึ่งแดด (ความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมและง่ายต่อการอัดขึ้นรูปจะอยู่ที่ 20-30% ซึ่งจะใช้เครื่องวัดความชื้นในการตรวจวัด) ก่อนอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องอัดขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

<http://jeet.siamtechu.net>

- การวิเคราะห์องค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิง

โดยนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วย ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณสารระเหย (Volatile Mater)
- วิเคราะห์หาค่าความร้อนของตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงผสมด้วยเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิง จะใช้เครื่องมือและวิธีการเดียวกับ การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

### 3.6 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านการเศรษฐศาสตร์จากการผลิตและใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง โดยจะทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนจากดัชนีดังต่อไปนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)
- อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)
- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)
- ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

## 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 4.1 การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง

- องค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง



รูปที่ 8 วัตถุดิบกากตะกอนน้ำเสีย

จากรูปที่ 8 เป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการจัดเตรียมและปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานและสมบัติทางเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลคือถ่านหินที่เป็นเชื้อเพลิงที่กันอย่างแพร่หลาย ผลการวิเคราะห์จะเป็นไปตามตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง

Analysis	Sewage Sludge (SS)*	Coal [16]
<b>Proximate analysis (wt.%)</b>		
Moisture	13.29	5.00-10.00
Volatile matter	60.98	25.00-40.00
Ash	20.86	8.50-11.30
Fix carbon	4.87	38.70-61.50
<b>Ultimate analysis (wt.%)</b>		
C	30.41	76.0-87.0
H	6.78	3.50-5.00
N	6.70	0.80-1.50
S	0.00	0.50-3.10
<b>HHV (MJ/kg)</b>	<b>11.84</b>	<b>26.00-28.30</b>

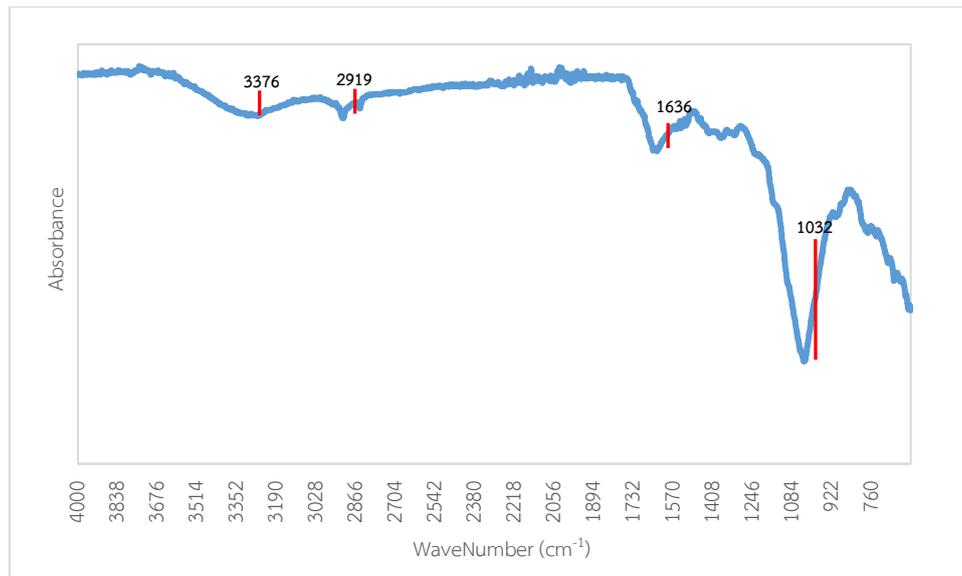
\*dry basis

จากตารางที่ 1 พบว่าจากการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียมีค่าความชื้นอยู่ที่ 13.29% มีปริมาณคาร์บอนคงที่ 4.87% มีปริมาณแก๊สอยู่ที่ 20.86% แต่มีปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียที่สามารถระเหยได้สูงถึง 60.98% และมีค่าความร้อนสูง 11.84 MJ/kg ซึ่งผลของการวิเคราะห์ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ดำเนินการเกี่ยวกับกากตะกอนน้ำเสีย [5]

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ ดำเนินการด้วยการใช้เครื่องวิเคราะห์ CHNS ซึ่งวิเคราะห์และรายงานผลองค์ประกอบของตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย โดยวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญได้แก่ ธาตุ Carbon (C) ธาตุไฮโดรเจน (H) ธาตุไนโตรเจน (N) และธาตุกำมะถัน (S) โดยผลการวิเคราะห์จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับชีวมวลทั่วไป และเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยเกี่ยวกับกากตะกอนน้ำเสีย [5] อย่างไรก็ตามข้อดีอีกประการของกากตะกอนน้ำเสียนี้คือ มีปริมาณกำมะถันต่ำมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหมาะสำหรับการนำมาผลิตเชื้อเพลิงที่มีพลังงานสูงแต่มีค่ากำมะถันต่ำ

- การวิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค FT-IR

จากรูปที่ 9 และตารางที่ 2 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของกากตะกอนน้ำเสียด้วยเทคนิค FTIR โดยจากกราฟ พบสัญญาณที่ wave number 3678-2678  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งตรงกับการสั่นสะเทือนของ O-H stretching ของโครงสร้าง hydrogen bonded alcohols, phenols และ carboxylic acids เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [6] ซึ่งคาดว่าในช่วงสัญญาณดังกล่าวจะมีองค์ประกอบของน้ำเป็นหลัก ถัดมาเป็นสัญญาณที่ wave number 1782-1482  $\text{cm}^{-1}$  ตรงกับ C=O stretching ของโครงสร้าง amide ที่คาดว่าเกิดจากองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน [7] นอกจากนี้ยังพบสัญญาณส่วนใหญ่ที่ wave number 1160-980  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งตรงกับการสั่นสะเทือนของ C-O stretching ของโครงสร้าง carboxylic acids เป็นไปในทิศทางเดียวกัน [8] คาดว่าจะเป็นส่วนของ silica ที่ไม่บริสุทธิ์ที่มีมาจากกระดูกหรือก้างปลาทูลา



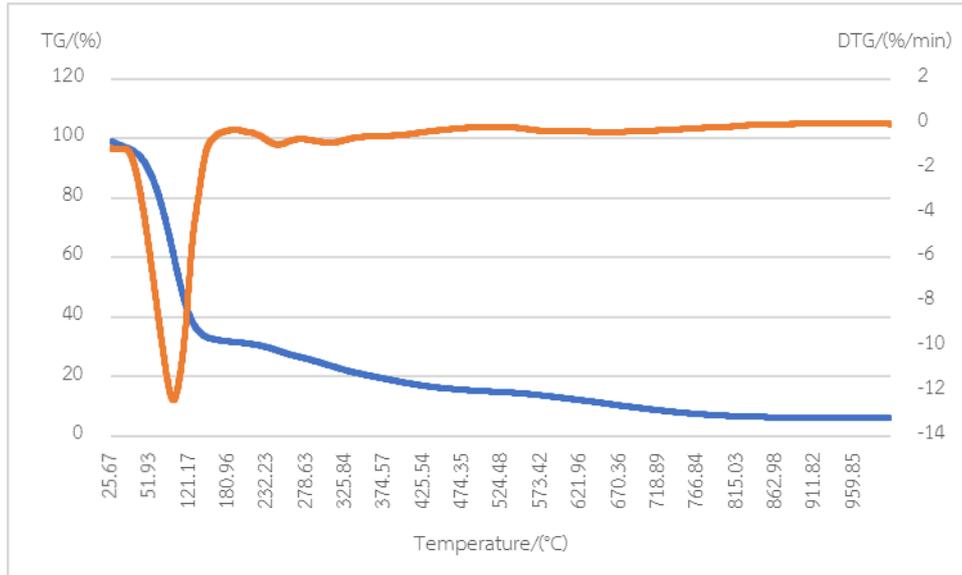
รูปที่ 9 การวิเคราะห์โครงสร้างของกากตะกอนน้ำเสียด้วยเทคนิค FTIR

ตารางที่ 2 Functional groups ของกากตะกอนน้ำเสีย

Wave number (cm <sup>-1</sup> )	Assignment	Characterisation	Reference
3678-2678	O-H stretching	hydrogen bonded alcohols, phenols, carboxylic acids	B. Kim.,2013 [6]
1782-1482	C=O stretching	amide	Grube et al., 2006 [7]
1160-980	C-O stretching	carboxylic acids	Senesi et al.,2003 [8]

• การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA

เพื่อให้ทราบถึงสมบัติต่างๆ ที่สำคัญของเม็ดเชื้อเพลิง จำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของวัตุุดิบที่ใช้เป็นเม็ดเชื้อเพลิงเป็นอย่างดีด้วยเช่นกัน ด้วยการวิเคราะห์ Thermogravimetric/differential thermal analysis (TG/DTA) ที่อุณหภูมิ 0 - 950 °C ในสภาวะอากาศปกติ โดยรูปที่ 10 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลกากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งจากกราฟพบว่า กากตะกอนน้ำเสียเริ่มที่จะสูญเสียน้ำหนักจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิ 84 °C และ 155 °C ซึ่งช่วงนี้มวลของกากตะกอนน้ำเสียจะลดลงอย่างชัดเจน และเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นต่อไป กากตะกอนน้ำเสียจะเริ่มติดไฟที่อุณหภูมิ 243 °C มวลของกากตะกอนน้ำเสียจะลดลงอย่างต่อเนื่องจากการสูญเสียโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างผลึก จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 849 °C เป็นต้นไปจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมวลอีกแล้ว ดังนั้นจุดนี้จึงถือว่าเป็นจุดสิ้นสุดการเผาไหม้



รูปที่ 10 การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA ของกากตะกอนน้ำเสีย

#### 4.2 การศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง

- การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง

หลังจากการวิเคราะห์องค์ประกอบสมบัติต่างๆ ของกากตะกอนน้ำเสีย ที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเม็ดเชื้อเพลิงแล้ว ต่อไปจะเป็นการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งจะขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงให้เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และมีความยาวเฉลี่ย 35 มม. ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย

- การวิเคราะห์องค์ประกอบของเม็ดเชื้อเพลิง

จากตารางที่ 3 เป็นการวิเคราะห์สมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงที่ขึ้นรูปจากกากตะกอนน้ำเสีย โดยเม็ดเชื้อเพลิงนี้มีค่าความชื้นอยู่ที่ 47.91% มีปริมาณคาร์บอนคงที่ 7.22% และมีปริมาณของกากตะกอนน้ำเสียที่สามารถระเหย 37.38% แต่มีปริมาณเถ้าต่ำอยู่ที่ 8.34% และมีค่าความร้อนสูง 15.13 MJ/kg และค่าความร้อนต่ำ 12.56 MJ/kg แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานและสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดเชื้อเพลิง

Parameter	Pellets (%wt.)
<b>Proximate analysis (wt.%)</b>	
Moisture	47.91
Volatile matter	37.38
Ash	8.34
Fix carbon	7.22
HHV (MJ/kg)	15.13
LHV (MJ/kg)	12.56

#### 4.3 การศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

หลังจากที่นำเม็ดเชื้อเพลิงไปวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงเพื่อหาค่าพลังงานที่ได้รับ เพื่อนำมาทดแทนการใช้ถ่านหินที่โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปพลาสติกป้องกันใช้เป็นเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งค่าพลังงานที่ได้รับนี้จะสามารถนำมาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

Parameter	Sewage Sludge	Coal	Unit
Manufacture Capacity	8,760.00	8,760.00	kg/Yrs.
Investment Costs	20,650.00	-	Baht
Material Costs	0.00	3.00	Baht/kg
Operating Costs	1.00	0.00	Baht/kg
Net Heating Value	12.56	27.79	MJ/kg
Specific Energy Cost	0.08	0.11	Baht/MJ
Energy Saving	0.03	-	Baht/MJ
Energy Saving Cost/Unit	0.79	-	Baht/kg
Disposal Cost/Unit	1.00	-	Baht/kg
Total Saving Cost/Unit	1.79	-	Baht/kg
Total Saving Cost	15,657.80	-	Baht/Yrs.
%Total Saving	59.58	-	%
NPV	48,328.03	-	Baht
IRR	31.19	-	%
B/C	144.64	-	%
Payback Period	3.00	-	Yrs.

<http://jeet.siamtechu.net>

จากตารางที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย โดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ประเมินจากพลังงานที่ได้รับจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งมีต้นทุนพลังงานที่ต่ำกว่าถ่านหินอยู่ที่ 0.08 บาท/MJ (ถ่านหิน 0.11 บาท/MJ) รวมทั้งยังสามารถลดค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียซึ่งถือว่าเป็นผลประโยชน์เพิ่มเติม ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย ให้ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุดนี้ ค่า Total Saving Cost 59.58%, NPV 48,328.03 บาท, IRR 31.19%, B/C 144.64% และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3 ปี

## 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย

กากตะกอนน้ำเสียที่สร้างปัญหาและภาระค่าใช้จ่ายให้กับสถานประกอบการในการจัดการของเสีย การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) ถือเป็นแนวทางที่สร้างประโยชน์ด้วยการนำกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่านหินในหม้อไอน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียในเวลาเดียวกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติทางด้านองค์ประกอบและทางด้านเชื้อเพลิงก่อนจะนำกากตะกอนน้ำเสียมาแปรรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์สมบัติของเสียที่นำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง [1] พบว่ากากตะกอนน้ำเสียถึงแม้ว่าค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าเกณฑ์ แต่มีข้อดีคือไม่มีปริมาณกำมะถันเจือปน จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง แต่ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมในการปรับปรุงการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียให้มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นอยู่ในเกณฑ์สมบัติของเสียที่นำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งอาจจะพิจารณาการนำของเสียชนิดอื่นมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมร่วมกัน รวมทั้งการนำวัตถุดิบอื่นมาผสมกับกากตะกอนน้ำเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในการใช้กากตะกอนน้ำเสียร่วมกับวัตถุดิบชนิดอื่นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. กรุงเทพฯ
- [2] ASTM. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels ASTM E872. USA: ASTM International (ASTM) Publishing; 1982.
- [3] ASTM. Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels ASTM E871. USA: ASTM International (ASTM) Publishing; 1982.
- [4] ASTM. Standard Test Method for Ash in Woods ASTM D1102. USA: ASTM International (ASTM) Publishing; 2013.
- [5] Longbo Jiang. "Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The density and hardness of pellet". *Bioresource Technology*, 2014; 166: 435-443.
- [6] B. Kim. "Physical-chemical characterization of sludge and granular materials from a vertical flow constructed wetland for municipal wastewater treatment". *Water Sci Technol*, 2013; 68(10): 2257-2263.
- [7] M. Grube. "Evaluation of sewage sludge-based compost by FT-IR spectroscopy". *Geoderma*, 2006; 130: 324-333.
- [8] N. Senesi. "Humic acids in the first generation of EUROSOLS". *Geoderma*, 2003; 116: 325-344.