

การคัดเลือกเทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะและการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินเพื่อประยุกต์ใช้ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยอง

ศักรธร บุญทวีวัฒน์^{1*} เกียรติไกร आयวัฒน์² และ พีรวัส หวังสถิตย์สถาพร³

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230 ประเทศไทย

²ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

³นักวิจัยอิสระ, ผู้เชี่ยวชาญด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: sakaradhorn@eng.src.ku.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.006

รับเมื่อ 5 มกราคม 2567 แก้ไขเมื่อ 30 ธันวาคม 2567 ตอรับเมื่อ 19 มกราคม 2568

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยอง เป็นหน่วยงานหลักในการจัดการขยะมูลฝอยตามการแบ่งกลุ่มพื้นที่ในการจัดการมูลฝอย (Clusters) กลุ่มขนาด L และสามารถรองรับขยะมูลฝอยได้มากกว่า 1,000 ตันต่อวัน อย่างไรก็ตาม จากการคาดการณ์ปริมาณขยะในอนาคตในจังหวัดระยองในอีก 20 ปีข้างหน้าจะขึ้นไปถึง 2,000 ตันต่อวัน ดังนั้น การคัดเลือกเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของศูนย์กำจัดขยะฯ และสามารถแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานได้จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยงานวิจัยนี้จะดำเนินการคัดเลือกเทคโนโลยีการกำจัดขยะและสามารถแปรรูปจากขยะให้เป็นพลังงาน ได้แก่ เทคโนโลยีเตาเผาขยะ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทคโนโลยีรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เทคโนโลยี RDF และเทคโนโลยีก๊าซซิพิเคชัน โดยคัดเลือกประเภทที่เหมาะสมในแต่ละเทคโนโลยีก่อนโดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากนั้นประเภทที่เหมาะสมของแต่ละเทคโนโลยีจะถูกเปรียบเทียบกันโดยการให้คะแนนแบ่งออกเป็น 4 หมวด ได้แก่ หมวดด้านเทคนิค หมวดด้านเศรษฐศาสตร์ หมวดด้านสิ่งแวดล้อม และหมวดด้านสังคม หลังจากคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีกำจัดขยะที่ถูกคัดเลือก โดยสรุปแล้วเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบตะกรับ เป็นเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะเสริมประสิทธิภาพการกำจัดขยะและการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงาน และมีความคุ้มค่าการลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ $B/C = 1.22$, $EIRR = 14.96\%$ และ $NPV = 415.54$ ล้านบาท และความคุ้มค่าทางการเงินที่ $R/C = 1.01$, $FIRR = 8.09\%$ และ $NPV = 15.50$ ล้านบาท

คำสำคัญ: เทคโนโลยีการกำจัดขยะ, เทคโนโลยีการแปลงขยะเป็นเชื้อเพลิง, เทคโนโลยีเตาเผาขยะ, การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

Selection of Waste-to-Energy Technologies with Economic and Financial Analysis for Application in the Integrated Solid Waste Management Center, Rayong Province

Sakaradhorn Boontaveeyuwat^{1*}, Kiatkrai Ayuwat², and Peerawas Wangstitstaporn³

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus Chonburi, 20230 Thailand

²The Energy and Environmental Engineering Center (EEEC), Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand

³Freelance Researcher, Expert in Economic and Finance, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: sakaradhorn@eng.src.ku.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.006

Received 5 January 2024; Revised 30 December 2024; Accepted 19 January 2025

ABSTRACT

The Rayong Provincial Integrated Solid Waste Management Center serves as a critical hub for managing solid waste in Thailand, designated to handle large-scale waste management clusters (L clusters) with a current capacity of over 1,000 tons per day. However, future waste projections indicate an alarming increase to 2,000 tons per day within the next two decades, necessitating the adoption of advanced technologies to enhance waste management efficiency and facilitate waste-to-energy transformation. This study aims to identify and evaluate innovative waste management technologies to address these challenges, including grate incineration, anaerobic digestion, landfill gas collection, refuse-derived fuel (RDF) processing, and gasification. A systematic methodology was employed, beginning with a qualitative analysis to determine the most suitable technological alternatives for each category. These alternatives were subsequently evaluated and scored across four dimensions: technical performance, economic viability, environmental impact, and social acceptability. The final step involved a comprehensive economic analysis of the selected technologies. The results identify grate incineration technology as the most effective solution for improving waste management efficiency and converting waste into energy. The economic feasibility analysis reveals a benefit-cost ratio (B/C) of 1.22, an economic internal rate of return (EIRR) of 14.96%, and a net present value (NPV) of 415.54 million baht. Additionally, financial feasibility assessments show a revenue-cost ratio (R/C) of 1.01, a financial internal rate of return (FIRR) of 8.09%, and an NPV of 15.50 million baht. These findings highlight the potential of grate incineration technology as a sustainable and economically viable solution to meet future waste management demands in Rayong Province, offering a replicable model for other regions confronting similar challenges.

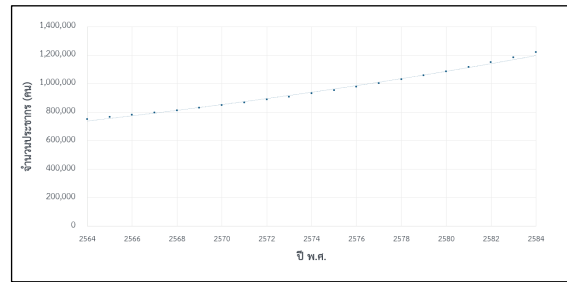
KEYWORDS: Solid waste disposal technology, Waste to energy technology, Incineration, Economics and financial analysis

Please cite this article as: S. Boontaveeyuwat, K. Ayuwat and P. Wangstitstaporn, "Selection of Waste-to-Energy Technologies with Economic and Financial Analysis for Application in the Integrated Solid Waste Management Center, Rayong Province," *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, vol 24, no 1, pp. 1-14, ID. 255327, April 2025 (in Thai).

1. บทนำ

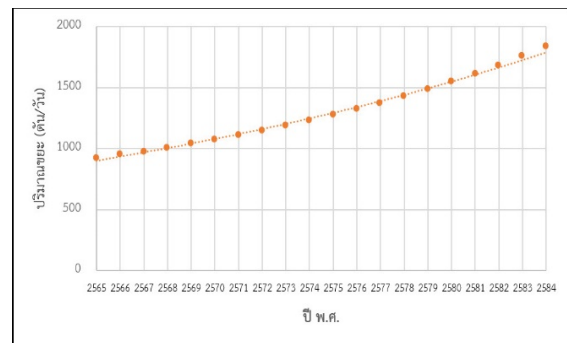
จังหวัดระยองถือเป็นจังหวัดต้นแบบในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยแบบครบวงจร โดยมีศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จ.ระยอง ตั้งอยู่หมู่ที่ 3 ต.น้ำคอก อ.เมือง จ.ระยอง บนพื้นที่ 516 ไร่ 2 งาน 61 ตารางวา เป็นศูนย์หลักในการจัดการขยะมูลฝอยตามการแบ่งกลุ่มพื้นที่ในการจัดการมูลฝอย (Clusters) กลุ่มขนาด L และสามารถรองรับขยะมูลฝอยได้มากกว่า 1,000 ตันต่อวัน โดยนำขยะมูลฝอยมากำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาล นอกจากนี้ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยฯ ยังมุ่งเน้นการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า โดยเฉพาะกระบวนการผลิตสารปรับปรุงดิน และระบบผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ องค์การบริหารส่วนจังหวัดระยองได้พัฒนาโครงการประสานความร่วมมือกับบริษัท โกลบอล เพาเวอร์ ซินเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) เพื่อจัดทำโครงการแปลงขยะเป็นเชื้อเพลิง (Waste to Energy) ในพื้นที่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยฯ โดยการติดตั้งกระบวนการแปลงขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิง refuse-derived fuel (RDF) เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบและลดกลิ่นเหม็นภายในศูนย์กำจัดขยะฯ

จากการดำเนินงานขั้นต้นทำให้ศูนย์กำจัดขยะฯ เป็นต้นแบบการจัดการขยะมูลฝอยแบบประชารัฐอย่างแท้จริง ตามแนวทางและกลไกการปฏิบัติงานด้านการบริหารจัดการขยะมูลฝอย “จังหวัดสะอาด” อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาขององค์การบริหารส่วนจังหวัดระยองมีการคาดการณ์ว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่จะเข้ามาใช้บริการภายในศูนย์กำจัดขยะฯ จะเพิ่มมากขึ้นถึง 1,834 ตันต่อวันจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นถึง 1.2 ล้านคน (Rayong Provincial Administrative Organization, 2022) ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 เป็นการแสดงการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและปริมาณขยะต่อวัน ดังนั้น องค์การบริหารส่วนจังหวัดระยองจึงมีความจำเป็นต้องลงทุนเทคโนโลยีการกำจัดขยะใหม่โดยต้องเป็นเทคโนโลยีที่สามารถแปลงขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานได้ เพื่อลดภาระการกำจัดขยะโดยหลุมฝังกลบขยะ เหมือนที่ในปัจจุบัน ศูนย์กำจัดขยะฯ ได้มีโรงไฟฟ้า RDF สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ 500 ตันต่อปี ซึ่งจะไม่เพียงพอในอนาคต อย่างไรก็ตามการพิจารณาเทคโนโลยีการแปลงขยะสู่พลังงานทดแทนจำเป็นต้องการ



รูปที่ 1 แนวโน้มจำนวนประชากรในจังหวัดระยองในอนาคต

ที่มา : Rayong Provincial Administrative Organization (2022)



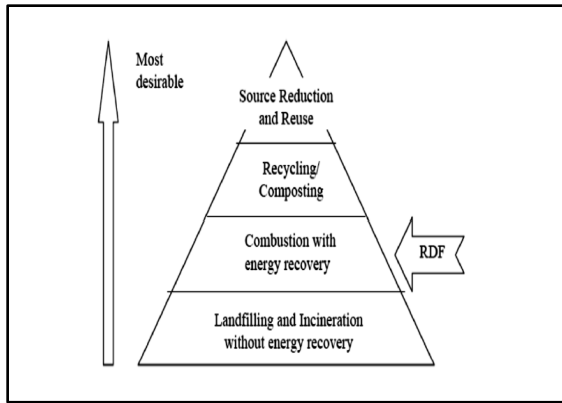
รูปที่ 2 การคาดการณ์ปริมาณขยะในจังหวัดระยองในอนาคต

ที่มา : Rayong Provincial Administrative Organization (2022)

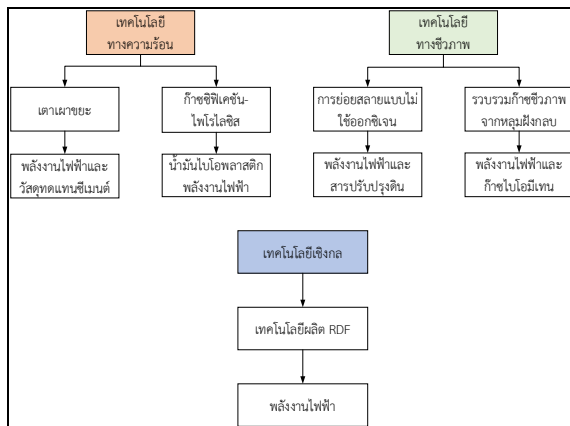
วิเคราะห์เชิงเทคนิคและการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการเงินเพื่อเป็นกระบวนการตัดสินใจอย่างรอบคอบ

ในปัจจุบัน ปัญหาขยะเป็นปัญหาสำคัญที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องต้องดำเนินการ กลยุทธ์การจัดการขยะโดยทั่วไปประกอบด้วย 4 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่การจัดการขั้นพื้นฐานโดยการเผาหรือการฝังกลบ ซึ่งเป็นการมุ่งเน้นที่การกำจัดขยะเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการนำพลังงานกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ขั้นที่สองเป็นการเผาโดยมีการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ขั้นที่สาม คือ การนำขยะหรือของเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยผ่านกระบวนการจัดการที่เหมาะสม และขั้นตอนสุดท้าย คือ การนำขยะกลับมาใช้ซ้ำและลดการเกิดขยะที่แหล่งกำเนิดหรือการใช้มาตรการลดขยะให้เป็นศูนย์ (Zero Waste) สรุปภาพรวมเทคโนโลยีการผลิตขยะแสดงดังรูปที่ 4

งานศึกษานี้จะดำเนินการคัดเลือก 4 เทคโนโลยีหลัก เพื่อมาประยุกต์ใช้ภายในศูนย์กำจัดขยะฯ เพิ่มเติม ได้แก่ เตาเผาขยะ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทคโนโลยีรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เทคโนโลยี RDF และเทคโนโลยีก๊าซซิพิเคชัน-ไพโรไลซิส ในส่วนนี้จะดำเนินการทบทวนแนวคิดหลักของ 4 เทคโนโลยีจาก (ERDI-CMU, 2022; Williams, 2005) ดังนี้



รูปที่ 3 การจัดการขยะชุมชน 4 ระดับ ที่มา : Nithikul



รูปที่ 4 สรุปภาพรวมเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะ

1. เทคโนโลยีเตาเผาขยะ เป็นการเผาขยะเพื่อทำลายมวลและปริมาตรของขยะมูลฝอยด้วยความร้อนในเตาที่ออกแบบสำหรับเผาขยะโดยเฉพาะประมาณร้อยละ 80-90 ของปริมาณขยะ โดยต้องมีการออกแบบเตาเผาให้เหมาะสมกับปริมาณและลักษณะองค์ประกอบของขยะมูลฝอยและปัจจัยสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ ค่าความชื้น และค่าความร้อนของขยะมูลฝอยซึ่งมีการผันแปรตามฤดูกาล ซึ่งจะต้องมีระบบควบคุมเป็นอย่างดีเพื่อป้องกันการปล่อยมลพิษ เช่น ก๊าซพิษ เขม่า กลิ่น ฯลฯ สู่ชั้นบรรยากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยประเภทของเตาเผาที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ เตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาแบบหมุน และเตาเผาแบบฟลูอิโดเบด พลังงานความร้อนที่ได้จากเตาเผาขยะจะสามารถถูกนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าได้ และ ซี้เก้าจากการเผาไหม้จะถูกนำไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบ ในส่วนของเถ้าลอย จะถูกนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างได้

2. ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ระบบนี้เป็นระบบที่มีการดำเนินการอยู่ในศูนย์กำจัดขยะฯ ซึ่งเป็นระบบแบบเปียกหลายขั้นตอน ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้

ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เป็นการนำขยะประเภทเศษอาหาร เศษผัก และผลไม้ไปหมักในบ่อหมักหรือถังหมักแบบปิด ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 100-200 ลูกบาศก์เมตรต่อปริมาณขยะอินทรีย์ 1 ตัน ก๊าซชีวภาพที่ได้มีส่วนของก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 55-70 มีค่าความร้อน 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยสามารถนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยเครื่องยนต์ชีวภาพ ส่วนกากที่เหลือจากการย่อยสลายสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร

3. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ คือการกักเก็บก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาย่อยสลายทางชีวเคมีของขยะมูลฝอยในบริเวณหลุมฝังกลบที่มีความลึกตั้งแต่ 12 เมตรขึ้นไป โดยช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน จากนั้นจึงเป็นการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซต่างๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน โดยสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้ การกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบนั้นเป็นการนำขยะมากองหรือฝังกลบในพื้นที่จัดเตรียมไว้แล้วใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะมูลฝอยยุบตัวลงจนมีความหนาแน่นของชั้นขยะมูลฝอยตามที่กำหนด จากนั้นจึงใช้ดินบดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงนำขยะมูลฝอยมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับ เทคโนโลยีการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนอาศัยทั้งกระบวนการทางชีวภาพ ทางเคมีและทางกายภาพในการย่อยสลายขยะมูลฝอย (Williams,2005)

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น สามารถจำแนกตามวิธีการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยได้เป็น 2 วิธี คือ เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน องค์การบริหารส่วนจังหวัดระยองได้มีการดำเนินการฝังกลบขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาลอยู่แล้ว

4. เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) เป็นการนำเทคโนโลยีในการแปรรูปขยะมูลฝอยและปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขยะด้วยกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน ความชื้น และมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยต้องมีการคัดแยกขยะอันตรายและ

ขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ออกไป จากนั้นจึงนำขยะไปเข้าสู่กระบวนการการผลิตเชื้อเพลิงโดยการย่อยขนาด เช่น การสีก ตัด สับ และทำให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปอัดแท่งหรืออัดก้อนเพื่อความสะดวกในการใช้งานและการขนส่ง ถือเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนการใช้ถ่านหินได้ดี (Kourkoumpas et al., 2018 ; Velis et al., 2010 ; Arena., 2012 ; Lombardi et al., 2015 ; Consonni et al., 2005) อีกหนึ่งข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการเผาขยะโดยตรง คือ การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะมูลฝอย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชนและตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณแฉะ และความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบโรงเผาขยะ ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอยเพื่อทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ ซึ่งเชื้อเพลิงขยะที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ต่อไป เชื้อเพลิงขยะที่ได้นี้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง (Fodor and Klemes., 2012; Gallardo et al., 2014; Astrup et al., 2009 and Swithenbank et al., 2003) เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอว่า ข้อดีของเชื้อเพลิงขยะคือ มีค่าความร้อนสูง (เมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมา) ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า

5. เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่มีการใช้ภายในศูนย์กำจัดขยะฯ เป็นกระบวนการที่ทำให้ขยะเป็นก๊าซโดยการทำให้ปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial combustion) หรือ Synthesis Gas โดยสารไฮโดรคาร์บอนในขยะจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดก๊าซต่าง ๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิง เรียกว่า “Producer Gas” เทคโนโลยีที่ใช้วิธีการเผาเช่นนี้ เรียกว่า

เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชันและไพโรไลซิส กระบวนการเผาคล้ายกับการเผาถ่าน นอกจากจะได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงแล้วยังได้ผลผลิตอย่างอื่นด้วย เช่น ถ่านชาร์ หรือ น้ำมันไพโรซิส ประเภทของก๊าซซิฟิเคชันที่ใช้ในเทคโนโลยีนี้แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ก๊าซซิฟิเคชันแบบ Fixed Bed, Fluidized Bed และ Entrained Flow (Belgiorno et al, 2003 ; Wang and Nakakubo, 2020)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจะเห็นว่า การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการจัดการขยะไปสู่พลังงานเป็นการเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพ ซึ่งจำเป็นต้องได้ยากและไม่เป็นรูปธรรมที่ชัดเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การคัดเลือกเทคโนโลยีการจัดการขยะตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process : AHP) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์แบบลำดับชั้นได้เป็นระบบได้มากกว่า เนื่องจากแต่ละเทคโนโลยีจะมีประเภทที่แยกย่อยออกไปแต่ละลำดับชั้น นอกจากนี้ในลำดับการตัดสินใจขั้นสุดท้ายจะมีการให้คะแนนความเหมาะสมออกเป็น 4 ด้านตามสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการขยะและพลังงานหมุนเวียนจำนวน 10 คน ซึ่งจะสามารถคัดเลือกเทคโนโลยีที่เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการปริมาณขยะในขนาดของศูนย์กำจัดขยะฯ ได้แม่นยำสูงกว่าการวิเคราะห์เชิงคุณภาพแต่เพียงอย่างเดียว และบทสรุปของงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการ

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 การวิเคราะห์เทคโนโลยีการจัดการขยะที่เหมาะสม

การวิเคราะห์เทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยอง จะใช้วิธีวิเคราะห์แบบคุณภาพเพื่อเลือกประเภทเทคโนโลยีกำจัดขยะโดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องใน Nithikul (2007) , Williams (2005) , Belgiorno et al, (2003) และ Wang (2020) โดยการวิเคราะห์จากล่างขึ้นบน หรือ Bottom up Approach คือ การวิเคราะห์ประเภทที่เหมาะสมกับศูนย์กำจัดขยะฯ ของแต่ละเทคโนโลยีการจัดการขยะมาก่อน ดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นประเภทที่เหมาะสมของแต่ละเทคโนโลยีจะถูกเลือกมาเปรียบเทียบกันอีกครั้งหนึ่งในขั้นตอนที่ 2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดขยะที่ศูนย์กำจัดขยะฯ โดยการพิจารณาให้คะแนนถ่วงตาม

น้ำหนัก 4 หมวดตามแนวคิดของ AHP (Taherdoost,2017) ได้แก่ หมวดด้านเทคนิค หมวดด้านเศรษฐศาสตร์ หมวดด้านสิ่งแวดล้อม และหมวดด้านสังคม จากการสำรวจผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการขยะและเทคโนโลยีจำนวน 10 คน เพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีในการจัดการขยะที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพภายในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยองมากที่สุด ดังนี้

1. หมวดด้านเทคนิค มีสัดส่วนน้ำหนักถ่วงร้อยละ 45 ประกอบด้วย

- | | |
|--|-----------|
| 1.1 ความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่มีต่อลักษณะและปริมาณของขยะมูลฝอย | ร้อยละ 10 |
| 1.2 ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ | ร้อยละ 10 |
| 1.3 การยอมรับของเทคโนโลยี | ร้อยละ 5 |
| 1.4 การเสริมประสิทธิภาพการกำจัดขยะ | ร้อยละ 10 |
| 1.5 ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ | ร้อยละ 10 |
- 2. หมวดทางด้านเศรษฐศาสตร์** มีสัดส่วนน้ำหนักร้อยละ 30 ประกอบด้วย
- | | |
|-----------------------------|-----------|
| 2.1 ต้นทุนการติดตั้งระบบ | ร้อยละ 10 |
| 2.2 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ | ร้อยละ 10 |
| 2.3 ผลกระทบที่ได้จากระบบ | ร้อยละ 10 |

3. หมวดด้านสิ่งแวดล้อม มีสัดส่วนน้ำหนักร้อยละ 20 ประกอบด้วย

- | | |
|----------------------------|----------|
| 3.1 ผลกระทบต่อน้ำผิวดิน | ร้อยละ 5 |
| 3.2 ผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน | ร้อยละ 5 |
| 3.3 มลพิษทางอากาศ | ร้อยละ 5 |
| 3.4 กลิ่น แผลง และเชื้อโรค | ร้อยละ 5 |

4. หมวดด้านสังคม มีสัดส่วนร้อยละ 5 ประกอบด้วย

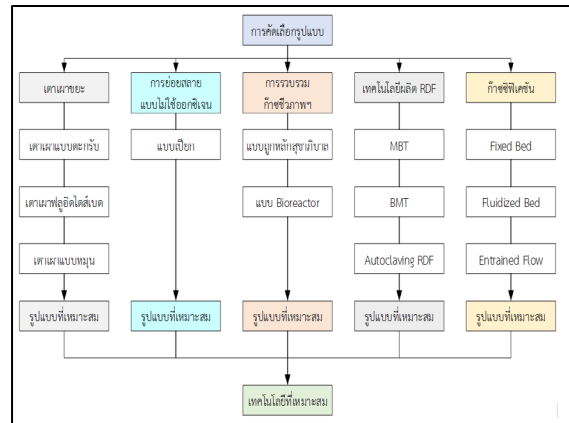
- | | |
|-------------------------------------|----------|
| 4.1 การสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชน | ร้อยละ 3 |
| 4.2 การยอมรับของประชาชน | ร้อยละ 2 |

โดยทั้ง 4 หมวดมีระดับคะแนนของความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย

- ระดับ 3 คะแนน หมายถึง มีความเหมาะสมมาก
- ระดับ 2 คะแนน หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง
- ระดับ 1 คะแนน หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย หรือไม่เหมาะสม

2.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การศึกษาในหัวข้อย่อยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการมีส่วนร่วมของเอกชนในการลงทุนและบริหารจัดการเทคโนโลยีระบบกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูก



รูปที่ 5 การคัดเลือกรูปแบบเทคโนโลยีการจัดการขยะ

คัดเลือกมาจากหัวข้อที่ 2.1 จึงให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ทางการเงิน แต่เนื่องจากโครงการดังกล่าวสามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตแก่สังคมได้ด้วย ซึ่งจะเป็นผลประโยชน์ด้านเศรษฐกิจของ โครงการ (Economic Benefit) นอกเหนือจากผลประโยชน์ด้านการเงิน ดังนั้น การศึกษานี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐกิจควบคู่ทางด้านการเงินไปด้วยเพื่อประโยชน์ส่วนรวมทางด้านสังคมและประเทศชาติต่อไป

ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ จะเป็นการนำเสนออัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Economic Internal Rate of Return : EIRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value: NPV) และ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : B/C Ratio)

2.2.1 ข้อมูลการลงทุนของโครงการ

งานศึกษานี้ได้ทำการประเมินผลค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินงาน ซึ่งเป็นเงินลงทุนเบื้องต้น (Initial Cost) รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษา (Operation and Maintenance Cost) และการจัดทำแผนการลงทุน โดยคำนึงถึงต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโครงการในการประมาณการต้นทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการจะใช้ราคา ณ ปี พ.ศ. 2565 โดยการประเมินจะคำนวณเป็นมูลค่าทางการเงิน (Financial Prices) ก่อนแล้วนำมามูลค่าทางการเงินคูณด้วยตัวแปรราคาทาง เศรษฐศาสตร์ (Economic Conversion Factor) องค์ประกอบค่าใช้จ่าย

1) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นการดำเนินงาน (Initial Cost) ของโครงการ

ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นการดำเนินงาน คือ ค่าใช้จ่ายด้านหมวดงานอาคาร ค่าใช้จ่ายด้านหมวดงานเฉพาะ ค่าใช้จ่าย

ด้านหมวดงานควบคุมก่อสร้างและค่ามาตรการด้านสิ่งแวดล้อม

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Cost) ของโครงการ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเป็นค่าใช้จ่ายรายปี ซึ่งถูกประเมินจากปี 2565 โดยค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานแบ่งออกเป็น

- (1) ค่าใช้จ่ายด้านเงินเดือนของเจ้าหน้าที่
- (2) ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับบุคลากรและการบริหารในปีแรกของการเดินระบบ
- (3) ค่าใช้จ่ายผันแปรในปีแรกที่เริ่มเดินระบบ
- (4) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาประจำปีในปีแรกที่เริ่มเดินระบบ
- (5) ค่าใช้จ่ายในการซ่อม

2.2.2 การประมาณการรายได้

1) ค่ากำจัดขยะมูลฝอย

รายได้ส่วนนี้เกิดจากการให้บริการกำจัดขยะมูลฝอย รายได้จะมาจากการประมาณการปริมาณขยะในอนาคต และสัดส่วนของปริมาณขยะแต่ละประเภทอยู่ภายใต้ข้อสมมติฐาน

2) รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า

รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อนำมาคิดรายได้ในแต่ละปี โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้า 5.08 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง (อ้างอิงจากมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพข.) เห็นชอบกรอบอัตรา FIT โรงไฟฟ้าขยะชุมชนปี 2565 สำหรับ ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)

อัตราค่าไฟฟ้าสูงสุดที่ 5.08 บาทต่อหน่วย 20 ปีแรก) โดยมีขนาดของโครงการโดยสมมติฐานมีขยะเข้าสู่เตาเผาสูงสุด 650 ตันต่อวัน หรือ 20.83 ตันต่อชั่วโมง ค่าความร้อนขยะ 7,536.24 Kj/kg หรือ 1,800 Kcal/kg ชั่วโมงในการเดินระบบในรอบปี 8,000 ชั่วโมง โดยคาดว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดเท่ากับ 9.74 MW และประสิทธิภาพโรงเตาเผาเท่ากับร้อยละ 22.32 โดยในแต่ละปีจะมีขยะเข้าสู่เตาเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 5 ประมาณการรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยสรุปรายได้ทั้งหมดจากค่ากำจัดขยะมูลฝอยและรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าเท่ากับ 6.25 พันล้านบาท ตลอด 20 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2568 – 2587

2.2.3 การวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์จะมีผลประโยชน์เพิ่มมาในส่วนที่ไม่ใช่ตัวเงินโดยตรง ได้แก่ผลประโยชน์ของสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น ผลประโยชน์ในส่วนนี้เกิดจากเมื่อมีโครงการ จะทำให้สภาพแวดล้อมดีขึ้น อันประกอบด้วย ชุมชนมีความสะอาดเป็นระเบียบ ไม่มีแหล่งเพาะเชื้อโรค มูลค่าที่ดินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในที่สุดจะทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น จึงนับว่าเป็นผลประโยชน์โดยตรงที่ประชาชนได้รับ การประเมินในส่วนนี้จะวัดจากความยินดีที่จะจ่ายเพื่อให้เกิดโครงการ ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการ (1)

ผลประโยชน์จากสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น =

ปริมาณขยะมูลฝอย X ความยินดีที่จะจ่ายต่อครัวเรือน (1)

2.3 การวิเคราะห์ทางการเงิน

ข้อมูลต้นทุนของโครงการที่ได้จากการประมาณราคา และรายได้ทางการเงินมาทำการวิเคราะห์หาผลตอบแทน โดยต้นทุนเดียวกันแต่ต่างกันที่ผลประโยชน์ที่นำมาคำนวณวิเคราะห์ซึ่งจะไม่รวมผลประโยชน์จากสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น โดยดัชนีชี้วัดผลตอบแทนทางการเงิน ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return : FIRR) และอัตราส่วนรายได้ต่อต้นทุน (Revenue-Cost Ratio : R/C Ratio) และระยะเวลาคืนทุน(Payback Period)

3. ผลลัพธ์

3.1 ผลการคัดเลือกประเภทของเทคโนโลยี

3.1.1 เตาเผาขยะ

ระบบเตาเผาขยะทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ เตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาฟลูอิดไบล์เบดและเตาเผาแบบหมุนดังรายละเอียดใน TEI (2019) และ ERDI-CMU (2022) จากการวิเคราะห์ข้อได้เปรียบเรื่องปริมาณขยะที่สามารถรองรับได้ 1,200-1,500 ตันต่อวัน ดังนั้น เตาเผาแบบตะกรับ จึงถูกเลือกเหนือประเภทอื่นๆ

3.1.2 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่มีการดำเนินการภายในศูนย์กำจัดขยะฯ อยู่แล้ว การคัดเลือกเทคโนโลยีในระบบนี้จึงเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบที่มีอยู่เดิม ด้านการส่งเสริมการคัดแยกขยะให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นจากต้นทาง และการรับขยะสดจำพวกเศษผักและผลไม้จากตลาดสดโดยไม่คิดค่ากำจัดและในอนาคตควรส่งเสริมการทำ

สัญญาขายไฟฟ้าเชิงพาณิชย์กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการรอประกาศอัตรการรับซื้อไฟฟ้าจากขยะชุมชนจาก คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ซึ่งอาจจะสร้างผลประโยชน์เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะฯ ได้มากกว่าการผลิต กระแสไฟฟ้าใช้เอง ในกรณีที่อัตรการรับซื้อไฟสูงกว่า 5 บาทต่อหน่วย

3.1.3 เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมี 2 ระบบ ได้แก่ แบบถูกหลักสุขาภิบาลและแบบ Bioreactor ซึ่งเป็นระบบที่สามารถช่วยย่นระยะเวลาของการย่อยสลาย สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนให้มีสถานะเสถียรและคงที่ ภายใน 5-10 ปี เพื่อเพิ่มอัตรการผลิตก๊าซชีวภาพและเพิ่ม ประสิทธิภาพให้ สูงกว่าระบบถูกหลักสุขาภิบาล (Williams,2005)

เทคโนโลยีนี้สามารถทำประโยชน์ได้ 3 แนวทาง ได้แก่ การเผาทิ้ง (Flare) เพื่อลดการปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่ชั้น บรรยากาศโดยตรง การนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้โดยตรง (Direct Use) ในพื้นที่ใกล้เคียง และการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ดังกล่าว จำเป็นต้องใช้ปริมาณขยะระดับ 1 ล้านตัน และเก็บสะสมไว้อย่างน้อย 2 ปี เพื่อให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนขึ้นสูงสุด (Bagchi,2004) จากนั้นจะมีอัตรการย่อยสลายและอัตร การเกิดก๊าซซัลเฟอร์ ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพการบดอัดของหลุมฝังกลบขยะด้วย การกลบทับชั้น ขยะมูลฝอยด้วยวัสดุกลบทับในกระบวนการฝังกลบจะทำให้ มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้มากขึ้นในสถานะแวดล้อมแบบไร้ออกซิเจน ศูนย์กำจัดขยะฯ ประยุกต์ใช้วิธีการฝังกลบขยะ แบบสุขาภิบาลอยู่แล้ว ดังนั้นจะคงวิธีประเภทถูกหลัก สุขาภิบาลไว้ในเทคโนโลยีนี้

3.1.4 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF

การพิจารณาที่จะเพิ่มเทคโนโลยี RDF ภายในศูนย์กำจัด ขยะฯ ในอนาคตเพื่อรองรับปริมาณขยะที่จะเพิ่มมากขึ้นใน อนาคต การพิจารณาต้องครอบคลุมทั้ง 3 ระบบของ การผลิต RDF ได้แก่ MBT, BMT และ Autoclaving RDF

เมื่อพิจารณาด้านเงินลงทุนและค่าดำเนินการเทคโนโลยี แบบ Autoclaving RDF มีข้อจำกัดในด้านราคา เนื่องจา เป็นการใช้ไอน้ำอุณหภูมิและความดันสูงในการอบขยะมูล ฝอย ดังนั้นจึงมีราคาต้นทุนและค่าดำเนินการที่สูงกว่าระบบ

อื่นๆ ในการติดตั้งเครื่องผลิตไอน้ำและการใช้พลังงานในการ ผลิตไอน้ำ นอกจากนี้การใช้ไอน้ำอุณหภูมิและความดันสูงใน การอบขยะจำพวกพลาสติก อาจจะทำให้พลาสติกเกิดการ หลอมละลายเป็นของเหลวอยู่ภายในเตา และก่อให้เกิด อันตรายได้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการคัดเลือกเทคโนโลยี คือ คุณสมบัติของขยะมูลฝอย เนื่องจากขยะมูลฝอยที่เก็บขน ได้ในจังหวัดระยอง ประกอบด้วยขยะพลาสติกและขยะ อินทรีย์เป็นหลักในสัดส่วนรวมกันมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็น ขยะที่มีความชื้นสูง และมีถุงพลาสติกปะปนอยู่เป็นจำนวน มาก (ERDI-CMU, 2022)

ปัญหาอย่างหนึ่งคือการนำขยะทิ้งรวมเหล่านี้ไปป้อนเข้า สู่ระบบคัดแยกทางกล จะส่งผลให้เครื่องคัดแยกไม่สามารถ คัดแยกขยะมูลฝอยได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เช่น มีเศษ ถุงพลาสติกไปติดอยู่บนสายพาน หรือเศษอาหารที่มี ความชื้นสูงจะทำให้สายพานเสียหาย จึงอาจกล่าวได้ว่า การนำขยะทิ้งรวมไปป้อนเข้าสู่ระบบคัดแยกทางกลโดยตรง หรือ การใช้เทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิงแบบ MBT จึงไม่เหมาะสมสำหรับขยะมูลฝอยทิ้งรวม

ในขณะที่ระบบแบบ BMT หากนำขยะทิ้งรวมไปฝังกลบ หรือ เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของขยะ อินทรีย์ จะทำให้ขยะที่เหลือเป็นขยะแห้ง หากหรือทำการรื้อ บ่อฝังกลบ ร่อนเอาเศษดินที่ปะปนอยู่ออก แล้วนำขยะแห้ง เหล่านี้ไปเข้าระบบคัดแยกทางกล จะทำให้ระบบคัดแยก สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าขยะเชื้อเพลิง ที่ได้จะมีค่าความร้อนสูง อย่างไรก็ตามระบบแบบ BMT ข้อจำกัดด้านพื้นที่ในการฝังกลบขยะในปริมาณมากขนาด 1,000 ตันต่อวัน ซึ่งในปัจจุบัน ศูนย์ กำจัดขยะ มูลฝอยฯ กำลังประสบปัญหาหลุมฝังกลบขยะใกล้เต็ม นอกจากนี้ ต้องใช้เวลาในการหมักขยะในหลุมฝังกลบอีก 2-3 เดือนเพื่อร่อนขยะแห้งนำมาคัดแยกต่อ นอกจากนี้ ยังไม่มีข้อมูลสำคัญว่าระบบ BMT ดำเนินการได้อย่างประสบ ความสำเร็จ ดังนั้น ระบบ RDF แบบ MBT ยังคงมีความ เหมาะสมในกรณีที่มีการขยายระบบเพิ่มเพื่อทำโรงไฟฟ้า พลังงานขยะชุมชนระยะที่ 2 แต่จำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพ ของเชื้อเพลิงขยะ RDF

3.1.5 เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification)

จากการเปรียบเทียบประเภทของก๊าซซิฟิเคชันทั้ง 3 ประเภทพบว่าก๊าซซิไฟเออร์แบบ Fixed Bed มีข้อได้เปรียบ เมื่อเทียบกับก๊าซซิไฟเออร์แบบอื่นๆ เนื่องจากสามารถใช้

ตารางที่ 1 ผลการให้คะแนนการคัดเลือกเทคโนโลยี

ด้าน	หัวข้อประเมิน	ร้อยละ	เทคโนโลยีการผลิตพลังงาน*				
			ก	ข	ค	ง	จ
เทคนิค	ความเหมาะสม	10	3	3	1	3	2
	ความซับซ้อน	10	2	1	2	3	2
	การยอมรับของเทคโนโลยี	5	3	3	3	3	3
	การเสริมประสิทธิภาพ	10	3	1	2	1	2
	ความต้องการใช้พื้นที่	10	3	3	3	3	3
เศรษฐศาสตร์	ต้นทุน	10	1	2	3	1	1
	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	10	1	2	3	1	1
	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบ	10	3	3	3	3	3
สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อน้ำผิวดิน	5	3	3	1	3	3
	ผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน	5	3	3	1	3	3
	มลพิษทางอากาศ	5	2	3	2	3	3
	กลิ่น แสง และเชื้อโรค	5	3	3	1	3	3
สังคม	การมีส่วนร่วมของประชาชน	3	3	3	3	3	3
	การยอมรับของประชาชน	2	2	2	2	2	2
100							

ตารางที่ 2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายโครงการ

ประเภทค่าใช้จ่าย	โครงการเตาเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า	
	ราคาต้นทุนการเงิน	ราคาต้นทุนเศรษฐศาสตร์
ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นการดำเนินงาน (ล้านบาท) ช่วงปีที่ 1-2		
หมวดงานอาคาร	320.27	281.84
ค่าลงทุนเตาเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า	193.02	1,775.77
ค่าใช้จ่ายด้านหมวดงานควบคุมก่อสร้าง	48.25	44.39
ค่ามาตรการด้านสิ่งแวดล้อม	22.99	21.15
รวมค่าใช้จ่ายเริ่มต้นการดำเนินงาน (2 ปี)	2,321.69	2,123.15
ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นการดำเนินงาน (ล้านบาท) ช่วงปีที่ 3-22		
ค่าใช้จ่ายค่าน้ำเงินเดือนของเจ้าหน้าที่ (บาทต่อปี) (53 คน)	28.76	26.46
ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับบุคลากรและการบริหารในปีแรก 1%ของมูลค่าโครงการ	22.99	21.15
ค่าใช้จ่ายผันแปรในปีแรกที่เริ่มเดินระบบ เท่ากับ 1% ของมูลค่าโครงการ	22.99	21.15
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาประจำปีในปีแรกที่เริ่มเดินระบบ เท่ากับ 1.25% ของมูลค่าโครงการ	27.58	25.38
ค่าใช้จ่ายในการซ่อม เปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรทุก 4 ปี สำหรับปีที่ 5 เท่ากับ 56,250,000 บาท (รวม 5 ปี)	321.82	296.07
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ปีละ 1,200,000 บาท (รวม 20 ปี)	24.00	22.08
รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (20 ปี)	448.14	412.29
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	2,769.83	2,535.43

ขยะมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ได้ คือ ขนาดประมาณ 20-100 มิลลิเมตร ในขณะที่ก๊าซซิไฟเออร์แบบ Fluidized Bed และ Entrained Flow ต้องใช้ขยะมูลฝอยขนาดเล็ก ทำให้ต้องมีระบบเตรียมขยะมูลฝอยขั้นต้นเพิ่มเติม นอกจากนี้ ก๊าซซิไฟเออร์แบบ Fixed Bed ยังสามารถใช้อากาศเป็นสาร

ออกซิไดเซอร์ได้ ในขณะที่ก๊าซซิไฟเออร์แบบ Entrained Flow ต้องใช้ออกซิเจนเป็นสารออกซิไดเซอร์ ซึ่งทำให้ต้องมีระบบผลิตออกซิเจน จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้ราคาลงทุนและค่าการดำเนินระบบของก๊าซซิไฟเออร์แบบ Fixed Bed มีราคาต่ำกว่าก๊าซซิไฟเออร์แบบอื่นๆ รวมทั้งสามารถควบคุม

ตารางที่ 3 รายได้จากค่ากำจัดขยะมูลฝอย

ปีที่	พ.ศ.	ปริมาณขยะมูลฝอยที่รวบรวมได้ทั้งหมด (ตัน/ปี)	ค่ากำจัดขยะมูลฝอย (บาทต่อตัน)	รายได้ (ล้านบาท/ปี)
1	2566			
2	2567			
3	2568	110.40	114	12,585.60
4	2569	113.88	114	12,981.75
5	2570	117.55	114	13,400.93
6	2571	121.45	114	13,844.84
7	2572	125.57	114	14,315.09
8	2573	129.94	114	14,813.62
9	2574	134.58	114	15,342.46
10	2575	139.51	114	15,904.03
11	2576	144.74	114	16,500.70
12	2577	150.31	114	17,135.11
13	2578	156.23	114	17,809.88
14	2579	162.53	114	18,528.19
15	2580	169.24	114	19,293.47
16	2581	176.40	114	20,108.92
17	2582	184.02	114	20,978.74
18	2583	192.17	114	21,906.81
19	2584	200.86	114	22,897.58
20	2585	208.05	114	23,717.70
21	2586	215.96	114	24,618.98
22	2587	223.90	114	25,524.83
รวม		3,177.28		362,209.24

ตารางที่ 4 การประมาณการรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า

ปี พ.ศ.	ขยะที่จะส่งเข้าเตาเผา (ตันต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (MWh)	พลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะจำหน่ายเข้าระบบ (MWh)	รายได้จากการจำหน่ายเข้าระบบ (ล้านบาท)
2568	302	47,136.13	40,264.13	204.54
2569	312	48,619.92	41,531.60	210.98
2570	322	50,189.93	42,872.71	217.79
2571	333	51,852.31	44,292.73	225.01
2572	344	53,613.73	45,797.36	232.65
2573	356	55,480.65	47,392.10	240.75
2574	369	57,461.55	49,084.19	249.35
2575	382	59,564.78	50,880.79	258.47
2576	397	61,799.38	52,789.61	268.17
2577	412	64,175.11	54,818.98	278.48
2578	428	66,702.50	56,977.91	289.45
2579	445	69,392.94	59,276.11	301.12
2580	464	72,258.73	61,724.09	313.56
2581	483	75,313.16	64,333.21	326.81
2582	504	78,570.59	67,115.74	340.95
2583	526	82,046.57	70,084.96	356.03
2584	550	85,757.89	73,255.20	372.14
2585	570	88,828.80	75,878.40	385.46
2586	592	92,204.29	78,761.78	400.11
2587	613	95,596.93	81,659.80	414.83
รายได้รวม				5,886.66

ที่มา : ดัดแปลงจาก Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2015)

ตารางที่ 5 ผลประโยชน์จากสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น

ปี	พ.ศ.	ปริมาณขยะ (ตัน/ปี)	ความยินดีที่จะจ่าย (บาท/ตัน)	ผลประโยชน์จากสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น (ล้านบาท) (3)=(1)*(2)
		(1)	(2)	(3)=(1)*(2)
1	2566	-	-	-
2	2567	-	-	-
3	2568	110.40	2.79	307.54
4	2569	113.88	2.79	317.22
5	2570	117.56	2.79	327.46
6	2571	121.45	2.79	338.31
7	2572	125.57	2.79	349.80
8	2573	129.94	2.79	361.98
9	2574	134.58	2.79	374.90
10	2575	139.51	2.79	388.62
11	2576	144.74	2.79	403.20
12	2577	150.31	2.79	418.71
13	2578	156.23	2.79	435.19
14	2579	162.53	2.79	452.75
15	2580	169.24	2.79	471.45
16	2581	176.39	2.79	491.37
17	2582	184.02	2.79	512.63
18	2583	192.17	2.79	535.30
19	2584	200.86	2.79	559.51
20	2585	208.05	2.79	579.55
21	2586	215.96	2.79	601.58
22	2587	223.90	2.79	623.71
รวม		3,177.28		8,850.77

ตารางที่ 6 ผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจของโครงการเตาเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

ดัชนีชี้วัดทางการเงิน	ผลตอบแทนด้านการเงิน ณ อัตราคิดลด (Discount Rate) ร้อยละ 8
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	415,542,964.43
อัตราผลตอบแทนด้านการเงิน (FIRR) (%)	14.96%
อัตราส่วนรายได้ต่อต้นทุน (R/C Ratio) (เท่า)	1.22

ตารางที่ 7 ผลตอบแทนด้านการเงินของโครงการเตาเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

ดัชนีชี้วัดทางการเงิน	ผลตอบแทนด้านการเงิน ณ อัตราคิดลด (Discount Rate) ร้อยละ 8
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	15,503,036.28
อัตราผลตอบแทนด้านการเงิน (FIRR) (%)	8.09%
อัตราส่วนรายได้ต่อต้นทุน (R/C Ratio) (เท่า)	1.01
ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) (ปี)	13

การทำงานของระบบได้ง่ายกว่าก๊าซซีไฟเออร์แบบอื่นๆ
ดังนั้นเทคโนโลยีก๊าซซีไฟเออร์แบบ Fixed Bed คือ
เทคโนโลยีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ภายในศูนย์กำจัดขยะ
มูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยอง

3.2 ผลการให้คะแนนเทคโนโลยีการจัดการขยะที่เหมาะสม

เมื่อได้ประเภทของเทคโนโลยีขยะที่เหมาะสมในแต่ละ
เทคโนโลยีแล้ว ต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลการให้คะแนน
ของการคัดเลือกระบบเทคโนโลยีเพื่อเสริมประสิทธิภาพศูนย์

การจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจรแสดงดังตารางที่ 1 การวิเคราะห์และคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในที่นี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของปริมาณขยะในอีก 20 ปีข้างหน้า คือประมาณ 2,000 ตันต่อวัน

จากตารางที่ 1 เมื่อรวมคะแนนเต็ม 300 คะแนน และมีผลสรุปของการให้คะแนนเพื่อคัดเลือกรูปแบบเทคโนโลยีการจัดขยะและแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานที่สามารถเสริมประสิทธิภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจรจังหวัดระยองที่เหมาะสมที่สุดคือ เทคโนโลยีเตาเผาขยะที่ 243 คะแนน รองลงมาเป็นเทคโนโลยีหมักก๊าซชีวภาพ และเทคโนโลยีผลิต RDF มีคะแนนเท่ากับ 238 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบขยะของจังหวัดระยองที่ประกอบด้วยขยะพลาสติกและขยะอินทรีย์เป็นหลัก อันดับที่ 4 เป็นเทคโนโลยีผลิตก๊าซซิพีเคชั่น มีคะแนนเท่ากับ 228 คะแนน ซึ่งข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้ คือ ไม่ได้เป็นการกำจัดขยะโดยตรง และต้องคำนึงถึงขนาด ความชื้นและค่าความร้อนของขยะ โดยเหมาะสมสำหรับขยะ

*เทคโนโลยี ก = เตาเผาขยะแบบตะกรับ ; ข = ย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ; ค = ผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ ; ง = RDF แบบ MBT ; จ = ก๊าซซิพีเคชั่น แบบ Fixed Bed

ที่มีความชื้นต่ำและค่าความร้อนสูงเท่านั้น จึงทำให้คะแนนน้อยกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ ที่กล่าวมา และลำดับสุดท้าย คือ เทคโนโลยีรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เนื่องจากปริมาณขยะที่หลุมฝังกลบมีไม่มากพอ และข้อจำกัดของขนาดพื้นที่หลุมฝังกลบ ทำให้เทคโนโลยีไม่เหมาะสมทั้งในปัจจุบันและในอนาคต การเลือกใช้เทคโนโลยีเตาเผาขยะสามารถกำจัดขยะส่วนที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลิตภัณฑ์จากเทคโนโลยีดังกล่าวยังสามารถแปรรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และแกลลอยที่ได้จากการเผาสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุทดแทนการผลิตซีเมนต์ได้ต่อไป ในหัวข้อถัดไปจะเป็นผลการวิเคราะห์โครงการเตาเผาขยะแบบตะกรับทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน

3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโครงการ

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโครงการสำหรับการลงทุนเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบตะกรับที่ 650 ตันต่อวันแสดงดังตารางที่ 2

3.4 ผลการวิเคราะห์การประมาณรายได้ของโครงการ

ผลการวิเคราะห์การประมาณรายได้ของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงดังตารางที่ 3 4 และ 5 ในส่วน

ของการวิเคราะห์โครงการทางการเงินก็จะใช้ข้อมูลจากรายได้ในตารางที่ 3 และ 4 ยกเว้นตารางที่ 5

จากการศึกษาถึงค่าความเต็มใจที่จะจ่ายค่าจัดการขยะมูลฝอยโดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ พบว่า ผู้ที่เต็มใจที่จะจ่ายมีค่าความเต็มใจที่จะจ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 42.86 บาท/คน/ครัวเรือน ปรับเป็นมูลค่าปีศึกษาเท่ากับ 70.23 บาท/คน/ครัวเรือน คิดเป็น 2,785.65 บาท/ตัน ซึ่งจะใช้ตัวแทนในการประเมินผลประโยชน์ เมื่อนำไปประเมินผลประโยชน์ พบว่ามีผลประโยชน์ 307.54 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2568 และเพิ่มขึ้นเป็น 623.71 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2587 รวมตลอดอายุโครงการเท่ากับ 8,850.77 ล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 5 ผลประโยชน์จากสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์

3.5 ผลการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน

สรุปผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน ณ อัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับ 8.00 % โครงการฯ ที่สามารถผ่านเกณฑ์ดัชนีชี้วัดทางการเงินดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7

4. การอภิปราย

จากตารางที่ 1 รวมคะแนนเต็ม 300 คะแนน ผลสรุปของการให้คะแนนเพื่อคัดเลือกรูปแบบเทคโนโลยีการจัดขยะและแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานที่สามารถเสริมประสิทธิภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจรจังหวัดระยองที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

- อันดับที่ 1 ได้แก่ เทคโนโลยีเตาเผาขยะ มีคะแนนเท่ากับ 243 คะแนน โดยจะสามารถกำจัดขยะส่วนที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผลิตภัณฑ์จากเทคโนโลยีดังกล่าวยังสามารถแปรรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และแกลลอยที่ได้จากการเผาสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุทดแทนการผลิตซีเมนต์ได้ต่อไป
- อันดับที่ 2 และ 3 ได้แก่ เทคโนโลยีหมักก๊าซชีวภาพ และ เทคโนโลยีผลิต RDF มีคะแนนเท่ากับ 238 คะแนน ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบขยะของจังหวัดระยองที่ประกอบด้วยขยะพลาสติกและขยะอินทรีย์เป็นหลัก

- อันดับที่ 4 ได้แก่ เทคโนโลยีผลิตก๊าซซิฟิเคชัน มีคะแนนเท่ากับ 228 คะแนน ซึ่งข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้ คือ ไม่ได้เป็นการกำจัดขยะโดยตรง และต้องคำนึงถึงขนาด ความชื้นและค่าความร้อนของขยะ โดยเหมาะสมสำหรับขยะที่มีความชื้นต่ำ และค่าความร้อนสูงเท่านั้น จึงทำให้คะแนนน้อยกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ ที่กล่าวมา
- อันดับที่ 5 ได้แก่ เทคโนโลยีรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ มีคะแนนเท่ากับ 223 คะแนน เนื่องจากปริมาณขยะที่หลุมฝังกลบมีไม่มากพอ และข้อจำกัดของขนาดพื้นที่หลุมฝังกลบ ทำให้เทคโนโลยีไม่เหมาะสมทั้งในปัจจุบันและในอนาคต เมื่อได้ผลการคัดเลือกแล้วว่าเตาเผาขยะแบบตะกรับ คือ เทคโนโลยีที่ถูกคัดเลือกว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ศูนย์กำจัดขยะฯ ก็จะมีการประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินซึ่งขนาดของเตาเผาขยะแบบตะกรับที่ถูกประเมินมีความจุที่ 650 ตัน/วัน ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินพบว่าสามารถผ่านเกณฑ์ได้ทั้งคู่ ดังนั้น เทคโนโลยีดังกล่าวสามารถถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะที่ศูนย์กำจัดขยะฯ จ.ระยอง

5. บทสรุป

งานศึกษานี้เป็นงานศึกษาการคัดเลือกเทคโนโลยีการกำจัดขยะและสามารถแปรรูปเป็นพลังงานที่เหมาะสมสำหรับศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยอง จากผลการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบตะกรับเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดขยะของศูนย์กำจัดขยะฯ ที่จะรองรับปริมาณขยะมากถึง 2,000 ตัน/วัน ในอีก 20 ปีข้างหน้า และสามารถตอบโจทยกลยุทธ์การลดขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบภายในศูนย์กำจัดขยะฯ ในอนาคตข้างหน้าตามแนวทางของ zero waste เพื่อลดการส่งกลิ่นเหม็นแก่ชุมชนรอบข้างของศูนย์กำจัดขยะฯ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าโครงการเตาเผาขยะเป็นโครงการที่คุ้มค่าการลงทุน

เมื่อมีการติดตั้งเตาเผาขยะภายในศูนย์กำจัดขยะฯ แล้ว การกำจัดขยะส่วนที่เหลือแบบขุดหลุมฝังกลบขยะก็จะลดน้อยลงส่งผลให้ลดการส่งกลิ่นเหม็นมากขึ้น กลยุทธ์การรื้อถอนขยะเก่าในหลุมฝังกลบขยะกลับมาใช้ประโยชน์โดยการ

เผาขยะเพื่อการกำจัด และผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการเตรียมขุดลอกสระเก็บน้ำดิบไว้เตรียมรองรับโรงไฟฟ้าแห่งที่ 2 ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยและเถ้าหนักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าแห่งที่ 2 มาใช้ในการสร้างถนนจะสามารถช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการลงทุนในเตาเผาขยะของศูนย์กำจัดขยะฯ ได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการ “การพัฒนาศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดระยอง ต้นแบบพลังงานยั่งยืน” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากองค์การบริหารส่วนจังหวัดระยอง

เอกสารอ้างอิง

- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste management*, 32(4), 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>
- Astrup, T., Møller, J., & Fruergaard, T. (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 789-799. <https://doi.org/10.1177/0734242X09348677>
- Bagchi, A. (2004). *Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management*, 3th ed., John Wiley & Son, INC.
- Belgiorio, V., De Feo, G., Della Rocca, C., & Napoli, R. M. A. (2003). Energy from gasification of solid wastes. *Waste management*, 23(1), 1-15.
- Consonni, S., Giugliano, M., & Grosso, M. (2005). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste: Part B: Emission and cost estimates. *Waste management*, 25(2), 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.006>
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2015). Feasibility Study of Energy Production from Solid Waste by Incineration. Retrieved Nov 15, 2015, from <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/2245>
- ERDI-CMU (2022). *Six Technologies : Waste to Energy*. Retrieved May 24, 2022 from <https://erdi.cmu.ac.th>
- Fodor, Z., & Klemeš, J. J. (2012). Waste as Secondary Raw Material and RDF as an Alternative Fuel in Cement Plants. *Applied Thermal Engineering*, 29(1), 298-303. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.03.021>
- Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M. D., Colomer, F. J., & Albarrán, F. (2014). Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *Journal of cleaner production*, 83, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.083>
- Kourkoupas, D.-S., Papadakis, V. G., Kyriakarakos, G., Kavadias, K., & Grigoriou, D. (2018). Refuse-Derived Fuel (RDF): Applications and Challenges in Waste-to-Energy Conversion Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1853-1868. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.278>

- Lombardi, L., Carnevale, E., & Corti, A. (2015). A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste management*, 37, 26-44. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.010>
- Nithikul, J. (2007). Potential of refuse derived fuel production from Bangkok municipal solid waste. *Thailand, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development*.
- Rayong Provincial Administrative Organization.(2022). Development of the Center of Integrated Solid Waste Management (CISWM), The Model of Sustainable Energy. Rayong Provincial Administrative Organization.
- Sumio,Y., Mazuto, S., Fumihiro,M. (2004). Thermo select Waste Gasification and Reforming Process, JFE Technical Report. Retrieved June 24, 2022 : <http://www.jfesteel.co.jp/en/research/report/003/pdf/003-05.pdf>
- Swithenbank, J., Nasserzadeh, V., & Goh, R. (2003). Refuse-Derived Fuel for Waste Management and Power Production. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 217(2), 115–124. <https://doi.org/10.1243/095440803322328931>
- Taherdoost,H (2017). Decision Making by Analytic Hierarchy Process (AHP), *International Journal of Economics and Management Systems* 2. Retrieved Jan 5, 2024, from <https://ssrn.com/abstract=3224206>
- TEI. (2019). *Development of the Cooperation in Waste to Energy Management TEI*.
- Velis, C. A., Longhurst, P. J., Drew, G. H., Smith, R., & Pollard, S. J. T. (2010). Production and Quality Assurance of Refuse-Derived Fuels (RDF). *Waste Management*, 30(4), 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.013>
- Wang, K., & Nakakubo, T. (2020). Comparative assessment of waste disposal systems and technologies with regard to greenhouse gas emissions: A case study of municipal solid waste treatment options in China. *Journal of cleaner production*, 260, 120827.
- Williams, P. T. (2005). *Waste Treatment and Disposal*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Ltd.