



# การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากขยะ มูลฝอยด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบและเทคโนโลยีการผลิตก๊าซ เชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

## An Economic Analysis of Electricity Generation from MSW Landfill Gas and MSW-RDF Gasification Technologies

กษมา ศิริสมบุญ\* ภคพน ทับทิม และ อัจฉรา นิลเขียว

Kasama Sirisomboon\* Pakapon Tubtim and Atchara Nilkeiw

ห้องวิจัยทางด้านการพลังงานและอุณหพลศาสตร์สูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

ตำบลสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,  
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

E-mail: kasama\_jan@yahoo.com, Telephone Number: 034-259-025, Fax. Number: 034-219-367

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขอนามัยและเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) และระยะเวลาคืนทุน (PB) สำหรับระยะเวลาการดำเนินโครงการ 25 ปี ในการศึกษาต้นทุนเพื่อผลิตไฟฟ้าจากปริมาณขยะมูลฝอย 85 ตันต่อวันพบว่า โรงไฟฟ้าสำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็งมีราคา 159,333,000 บาท ในขณะที่โรงไฟฟ้าหลุมฝังกลบมีต้นทุนเท่ากับ 75,790,627 บาท โดยปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็งจะมีค่าถึง 955 kW ในขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการฝังกลบจะมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 149 kW ไปจนถึง 545 kW จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะแข็งให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าโดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 238,130,898 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 24.01% และต้นทุนต่อหน่วย 4.89 บาทต่อหน่วย ในส่วนเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขอนามัยมีผลตอบแทนการลงทุนคือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 123,644,379 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 17.65% และต้นทุนต่อหน่วย 3.26 บาทต่อหน่วย โดยสามารถสรุปได้ว่า โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะทั้ง 2 โครงการมีความคุ้มค่าแก่การลงทุน

## ABSTRACT

This research aims to study the economic feasibility of electricity generation from municipal solid waste (MSW) landfill gas and municipal solid waste-refuse derived fuel (MSW-RDF) gasification technologies. The worthwhileness of the financial investment was evaluated in terms of net present value (NPV), internal rate of return (IRR), payback period (PB) and benefit cost ratio (B/C) for an assumed lifespan of 25 years. To generate the electricity from 85 ton/day of MSW, the capital investment cost for MSW-RDF gasification power plant was 159,333,000 Baht while it was 75,790,627 Baht for the MSW landfill gas power plant. While the electricity produced from MSW-RDF gasification technology was constant at 955 kW, it was varied from 149 to 545 kW through the MSW landfill gas technology. From the economic analysis, it was found that the MSW-RDF gasification technology produced the higher return for NPV of 238,130,898 Baht, an IRR of 24.01% with the unit cost of 4.89 Baht/kWh. The MSW landfill gas technology had the NPV of 123,644,379 Baht, IRR of 17.65% and the unit cost of 3.26 Baht/kWh. It can be concluded that both MSW landfill gas and MSW-RDF gasification technologies were worth to invest.

## 1. บทนำ

สถานการณ์ด้านพลังงานในปัจจุบันประเทศไทยมีการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศอย่างมากในปี พ.ศ.2556 ที่ผ่านมามีมูลค่าการนำเข้าพลังงานรวม 1.42 ล้านล้านบาท ซึ่งน้ำมันดิบคิดเป็นร้อยละ 75.88 [1] ดังนั้นการพัฒนาพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างชาติ

จากข้อมูลของกองแผนงานและประเมินผล กรมควบคุมมลพิษ (2556) พบว่า ปริมาณขยะจากชุมชนมีเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี โดยในปี 2556 มีปริมาณรวมจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำนวน 7,782 แห่งมีปริมาณขยะมูลฝอยรวม 26.77 ล้านตัน มีเพียง 7.2 ล้านตัน (ร้อยละ 27) เท่านั้นที่ถูกกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดแบบไม่ถูกต้อง 6.9 ล้านตัน (ร้อยละ 26) ปริมาณขยะมูลฝอยที่ไม่ได้เก็บขนทำให้เกิดคั้งในพื้นที่ 7.6 ล้านตัน (ร้อยละ 28) และปริมาณขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ 5.1 ล้านตัน (ร้อยละ 19) [2]

จิรวรรณ ชินมณีและคณะ (2557) ได้ศึกษาและรวบรวมการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยเทคโนโลยีเตาเผาจากเทศบาลนครภูเก็ต การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับก๊าซซิฟิเคชันจากเทศบาลท่าโขลง จังหวัดปทุมธานีและเทคโนโลยีแบบหลุมฝังกลบจากเทศบาลนครเชียงใหม่ โดยแต่ละพื้นที่มีปริมาณขยะในแต่ละวันที่แตกต่างกัน จากผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบ

เทคโนโลยีร่วมระหว่างการหมักร่วมกับก๊าซซิฟิเคชัน และเทคโนโลยีหลุมฝังกลบนั่นใช้เงินลงทุนและต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าระบบเตาเผา

สมหวัง ชินวานิชย์เจริญและคณะ (2551) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์การเปลี่ยนขยะชุมชนเป็นพลังงานด้วยเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง กรณีศึกษาเทศบาลนครขอนแก่น พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซมีความเหมาะสมกับองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนและกระบวนการบริหารขยะมูลฝอยของเทศบาลขอนแก่น โดยองค์ประกอบกายภาพขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้คิดเป็นร้อยละ 88.85 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 6.34 เมกกะวัตต์ ขณะที่ขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้คิดเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 53.59 และสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 2.85 เมกกะวัตต์

เพชรดา เวณันท์และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเชิงเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยีฝังกลบ (Sanitary Landfill) เทคโนโลยีการหมักหรือเทคโนโลยีทางชีวภาพ (Anaerobic Digestion) เทคโนโลยีการเผา (Incineration) โดยสรุปว่า ข้อดีของการนำขยะไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าคือ เป็นการช่วยลดปริมาณขยะ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ และการจัดการ

ขยะแบบฝังกลบจะช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่ชั้นบรรยากาศ

จากการรวบรวมข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สถานภาพ ณ เดือนเมษายน-พฤษภาคม 2558) ของผู้ประกอบการโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะพบว่า ปัจจุบันประเทศไทยมีโครงการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะรวมทุกสถานภาพจำนวน 49 โครงการ คิดเป็นกำลังการผลิตติดตั้งรวม 368.99 เมกะวัตต์ [6] โดยเทคโนโลยีที่ใช้ประกอบด้วยเทคโนโลยีการเผาไหม้/เตาเผาขยะ เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ

จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการศึกษาเปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ (Landfill Gas) และเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ (Municipal Solid Waste and Refuse-Derived Fuel Gasification) สำหรับปริมาณขยะไม่เกิน 100 ตันต่อวันนั้นยังไม่มีผู้ทำการศึกษา

เพื่อเป็นแนวทางในการประกอบการผลิตไฟฟ้าจากขยะและผู้สนใจ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา รวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ต้นทุนและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขอนามัยและเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะแข็ง โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C Ratio) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) และการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของโครงการ

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 การคำนวณปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ (Electricity Generation from Landfill Gas)

เป็นเทคโนโลยีที่ทำการรวบรวมขยะมูลฝอยจากชุมชนและฝังกลบ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas) สำหรับเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในหรือกังหันก๊าซสำหรับผลิตไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นหลังจากการทำการฝังกลบแล้วประมาณ 5 ปี โดยปริมาณก๊าซที่ได้จะลดลงเรื่อย ๆ ไปจนถึงปีที่ 20 (นับจากเริ่มฝัง)

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากบ่อขยะมักเป็นก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำและประกอบด้วย มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน แอมโมเนีย และไอน้ำ ปกติก๊าซดังกล่าวจะมีปริมาณมีเทนสูงกว่า 50–60% [7] ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มค่าความร้อนและกำจัดสิ่งปนเปื้อนเช่น น้ำ สารประกอบซัลเฟอร์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนที่จะนำก๊าซเข้าสู่ระบบเผาไหม้

ในการหาปริมาณก๊าซมีเทนจากบ่อขยะสำหรับประเทศไทยได้มีงานวิจัยเพื่อหาค่าคงที่และค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมและได้รับการพัฒนาโดย U.S. Environmental Protection Agency: USEPA [8] โดยในแต่ละปีก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากหลุมฝังกลบมีปริมาณไม่เท่ากันและคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนในแต่ละปีได้ดังสมการ

$$Q_{CH_4,i} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] e^{-kt_{ij}} \quad (1)$$

โดยที่  $Q_{CH_4,i}$  คืออัตราการเกิดก๊าซมีเทน ( $m^3/year$ )  $k$  คือค่าคงที่ของการปล่อยก๊าซมีเทน ( $1/year$ )  $L_0$  คือ ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน ( $m^3/tons$ )  $M$  คือปริมาณขยะ ( $tons$ )  $i$  คือปีที่ฝังกลบ  $j$  คือเศษส่วนของปี ( $0.1-0.9$ )  $t_{ij}$  คือระยะเวลาของปีที่ฝังกลบ  $n$  คือจำนวนปีของหลุมฝังกลบ ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าคงที่ของการปล่อยก๊าซมีเทน ( $k$ ) กำหนดให้ค่าเท่ากับ 0.06 จากค่าความหนาแน่นของขยะ  $600 \text{ kg/m}^3$  [9] ค่า  $L_0$  มีค่า  $121.4 \text{ m}^3/ton$  ซึ่งเป็น

ค่าเฉลี่ยของขยะเทศบาลทั่วประเทศและจำนวนปีที่ผลิตก๊าซได้คือปีที่ 6 ถึง 20 นับจากเริ่มทำการฝังกลบ

เมื่อได้ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากสมการที่ (1) แล้ว กำลังการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซมีเทนในแต่ละปีสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$P_i = \frac{G_i}{(h / y)} \times HV \times \eta \times \frac{1,000}{3,600} \quad (2)$$

โดยที่  $P_i$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้า ณ ปีที่  $i$  (kW)  $G_i$  คือ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ณ ปีที่  $i$  ( $Nm^3/Year$ )  $HV$  คือ ค่าความร้อน (โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่า  $HV = 16.5 MJ/Nm^3$ ) [8]  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพโดยรวมของโรงไฟฟ้าในการผลิตกระแสไฟฟ้า (ใช้ค่าประสิทธิภาพ 25%) [10] และ  $h/y$  คือ ชั่วโมงในการผลิตไฟฟ้าต่อปี

ปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อขยะในแต่ละปี ( $G_i$ ,  $Nm^3/year$ ) คำนวณได้จากปริมาณก๊าซมีเทนในแต่ละปี ( $Q_{CH_4,i}$ ) จากสมการที่ 1 และมีสมการดังต่อไปนี้

$$G_i = Q_{CH_4,i} \times \frac{100}{50} \times 0.75 \quad (3)$$

โดยประสิทธิภาพของระบบรวบรวมก๊าซที่กำหนดโดย USEPA [8] ให้มีประสิทธิภาพร้อยละ 75 และมีการเกิดก๊าซมีเทน 50% ของปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อขยะที่ผลิตได้

## 2.2 การคำนวณปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง (Electricity Generation from RDF Gasification)

การแปรรูปขยะมูลฝอยเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแข็งนั้นมีขั้นตอนเริ่มจากการย่อยเพื่อลดขนาด ลดความชื้น จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งจนกลายเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel, RDF) โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอย โดยปริมาณเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขยะมูลฝอยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_r = W_i \times \frac{(100 - MC_i)}{(100 - MC_r)} \quad (4)$$

โดยที่  $W_r$  คือ ปริมาณเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง ( $kg/hr$ )  $W_i$  คือ ปริมาณขยะ ( $kgs/hr$ ),  $MC_i$  คือ ค่าความชื้นของขยะมูลฝอย (โดยทั่วไปใช้ความชื้นของขยะมูลฝอยที่ 50%),  $MC_r$  คือ ค่าความชื้นของเชื้อเพลิง (ค่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 15%) [11]

เมื่อได้เชื้อเพลิงขยะอัดแท่งที่มีความชื้นเหมาะสมแล้ว เชื้อเพลิงจะถูกลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasifier) ซึ่งเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในเชื้อเพลิงขยะเปลี่ยนเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ โดยก๊าซเชื้อเพลิง (Syngas) ที่ได้ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ก๊าซ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน และส่วนประกอบของน้ำมันดิน (Tar) รวมถึงขี้เถ้า ก่อนที่จะนำก๊าซเชื้อเพลิงดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยเครื่องชนิดสันดาปภายในที่ต่อพ่วงเข้ากับเครื่องปั่นไฟ (Generator) จึงต้องมีการทำความสะอาดและปรับปรุงคุณภาพ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง 1 kg สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่เป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการได้ 2.2–2.5  $Nm^3/kg$  [10] ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ ( $G$ ,  $Nm^3/hr$ ) คำนวณได้จากปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงขยะ ( $FR_{RDF}$ ,  $kg/hr$ ) สมการ

$$G = 2.2 \times FR_{RDF} \quad (5)$$

เมื่อทราบปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงสามารถคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P = \frac{G}{(h / y)} \times HV_{syn} \times \eta \times \frac{1,000}{3,600} \quad (6)$$

โดยที่  $P$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้า (kW)  $HV_{syn}$  คือ ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงจากระบบก๊าซซิฟิเคชัน ( $MJ/Nm^3$ )  $\eta$  คือประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า และ  $h/y$  คือชั่วโมงในการผลิตไฟฟ้าต่อปี สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการประมาณหาความคุ้มค่าและเพื่อประกันความเสี่ยงในการลงทุน จึงใช้ปริมาณการผลิตก๊าซผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งที่ (G)  $2.2 Nm^3/kg$  ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงจากระบบก๊าซซิฟิเคชัน ( $HV_{syn}$ ) คือ  $3 MJ/Nm^3$  [7] ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ( $\eta$ ) ที่ 25% [10]

### 2.3 ทฤษฎีในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาลและเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะแข็งได้นำข้อมูลทางด้านเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และรายได้ที่ได้รับของโครงการ มาใช้ในการคำนวณหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการประเมินจะใช้การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) การประเมินว่าโครงการที่ลงทุนนั้นสามารถสร้างผลกำไรได้หรือไม่ โดยการคิดให้มูลค่ากระแสเงินสดของโครงการนั้นเป็นมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิเมื่อสิ้นอายุของโครงการ ซึ่งเท่ากับมูลค่าปัจจุบันขาเข้าหรือรายรับ หักด้วยมูลค่าปัจจุบันขาออกหรือรายจ่าย โดยใช้ดอกเบี้ยเงินกู้เป็นอัตราคิดลด และค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิต้องมีความมากกว่าศูนย์ จะแสดงให้เห็นว่าโครงการนั้นให้ผลกำไรและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

$$NPV = \sum_i \frac{C_i}{(1+k)^n} - I \quad (7)$$

โดย  $C_i$  คือกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปี  $n$  คืออายุโครงการ (ปี)  $k$  คืออัตราส่วนลดหรืออัตราผลตอบแทนที่ธุรกิจกำหนดไว้ และ  $I$  คือเงินลงทุนเริ่มแรก

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate Return, IRR) คือ การประเมินว่าโครงการที่ลงทุนนั้นให้อัตรา

ผลตอบแทนเท่าใด โดยการสุ่มอัตราคิดลด ที่ทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ ซึ่งทำให้กระแสเงินสดสุทธิในอนาคตตอนมูลค่ากลับมาเป็นปัจจุบัน และค่าของอัตราผลตอบแทนภายในควรมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดและยังมีความสูงนั้น จะแสดงให้เห็นว่าโครงการนั้นให้ผลกำไรและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

$$\sum_i \frac{C_i}{(1+IRR)^n} - I = 0 \quad (8)$$

โดย IRR คืออัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ย

ระยะเวลาคืนทุน (Payment Period, PB) คือ การประเมินว่าโครงการที่ลงทุนนั้น มีระยะเวลาในการดำเนินงานที่ทำให้มูลค่าผลตอบแทนสุทธิ มีค่าเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกพอดี หรือกล่าวได้ว่าจำนวนปีในการดำเนินงานซึ่งให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกพอดี ซึ่งระยะเวลาคืนทุนนั้นจะแสดงให้เห็นถึงโครงการนั้นใช้เวลาถึงงวดหรือกี่ปีในการคืนทุน

$$Payback = \frac{I}{\left( \sum_i C_i \right) / n} \quad (9)$$

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio, B/C Ratio) คือ การประเมินว่าโครงการที่ลงทุนนั้นให้ผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายและเงินลงทุนตลอดโครงการเท่าใด โดยการหาอัตราส่วนระหว่างผลรวมมูลค่าปัจจุบันขาเข้าหรือรายรับ กับมูลค่าปัจจุบันขาออกหรือรายจ่าย ซึ่งอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนต้องมีค่าน้อยกว่า 1 หรือมีค่ามากกว่า 1 จะแสดงให้เห็นว่าโครงการนั้นให้ผลกำไรและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) คือการประเมินสถานการณ์การดำเนินงานโครงการที่ไม่ได้เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ โดยมีปัจจัยต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปและส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการ ดังนั้นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจึงเป็นขั้นตอนที่ช่วยให้ตัดสินใจได้ดีขึ้นในการจัดตั้งโครงการในงานวิจัยนี้ตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความ

อ่อนไหวคือ อัตราในการกำจัดขยะ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ อัตราเงินเฟ้อ เงินลงทุนและอัตราบริโภคไฟฟ้า

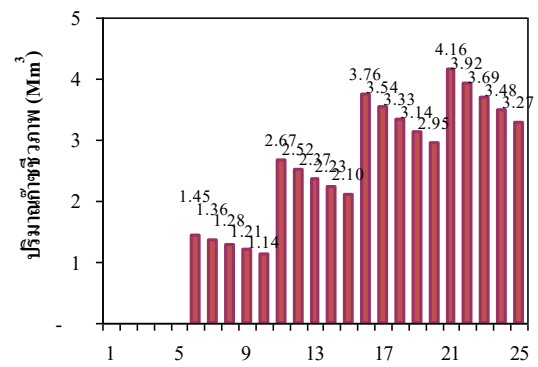
### 3. ผลการศึกษา

#### 3.1 ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ

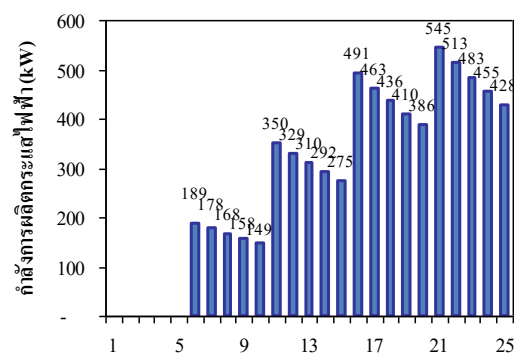
จากข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยเทศบาลนครแห่งหนึ่งในภาคกลางที่ 104.08 ตันต่อวัน [12] ปริมาณขยะมูลฝอยที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของงานวิจัยนี้คือ 85 ตันต่อวัน ซึ่งคิดเป็นปริมาณในการเก็บรวบรวมเข้าสู่ระบบได้ประมาณ 80% ของปริมาณขยะทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยคิดอัตราการเพิ่มขึ้นของขยะต่อปีอยู่ที่ 2.08% และกำหนดให้อายุโครงการของการผลิตไฟฟ้าจากทั้ง 2 ระบบมีค่าเท่ากับ 25 ปี

โดยบ่อขยะที่ใช้ในกรณีศึกษานี้ แต่ละบ่อมี 35 เซล และแต่ละเซลล์มีขนาด กว้าง x ยาว x ลึกเท่ากับ 30 x 30 x 10 ลูกบาศก์เมตรและมีความหนาแน่นขยะที่ 0.6 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้ต้องมีการขุดบ่อฝังกลบทั้งหมดจำนวน 4 บ่อ โดยบ่อแรกเริ่มนำขยะเข้าสู่หลุมในปีที่ 1 บ่อที่ 2 เริ่มในปีที่ 6 บ่อที่ 3 เริ่มในปีที่ 11 บ่อที่ 4 เริ่มในปีที่ 16 โดยบ่อสุดท้ายนี้จะผลิตก๊าซได้ในปีที่ 20 และยุติการผลิตทั้งหมดในปีที่ 25 โดยแต่ละบ่อมีอายุในการผลิตก๊าซที่ 15 ปี นับตั้งแต่ปีที่ 6 ไปจนถึงปีที่ 20 (นับจากปีที่เริ่มทำการฝังกลบ)

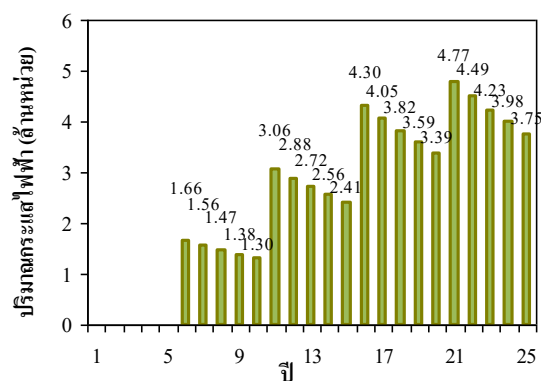
จากปริมาณขยะที่เข้าสู่ขั้นตอนการฝังกลบ จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละปีดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งได้จากการคำนวณโดยทฤษฎี LandGEM ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในสมการที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละปี  
โดยหลุมฝังกลบ



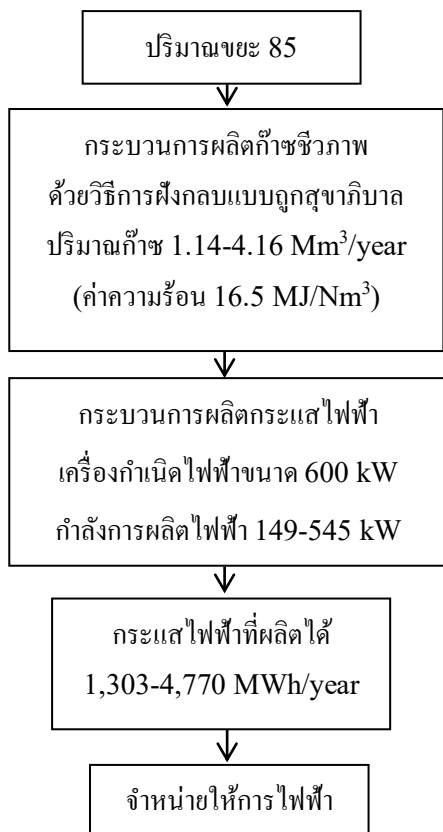
รูปที่ 2 กำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละปีของเทคโนโลยี  
หลุมฝังกลบ



รูปที่ 3 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี  
ของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละปีจะมีกำลังการผลิตไม่เท่ากันเนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบมีปริมาณที่ผลิตได้ไม่เท่ากัน ในขณะที่ปี 11 ปริมาณก๊าซที่ได้จะมาจากบ่อที่ 1 และ 2 ส่วนปีที่ 16 ก๊าซที่ได้จะมาจาก

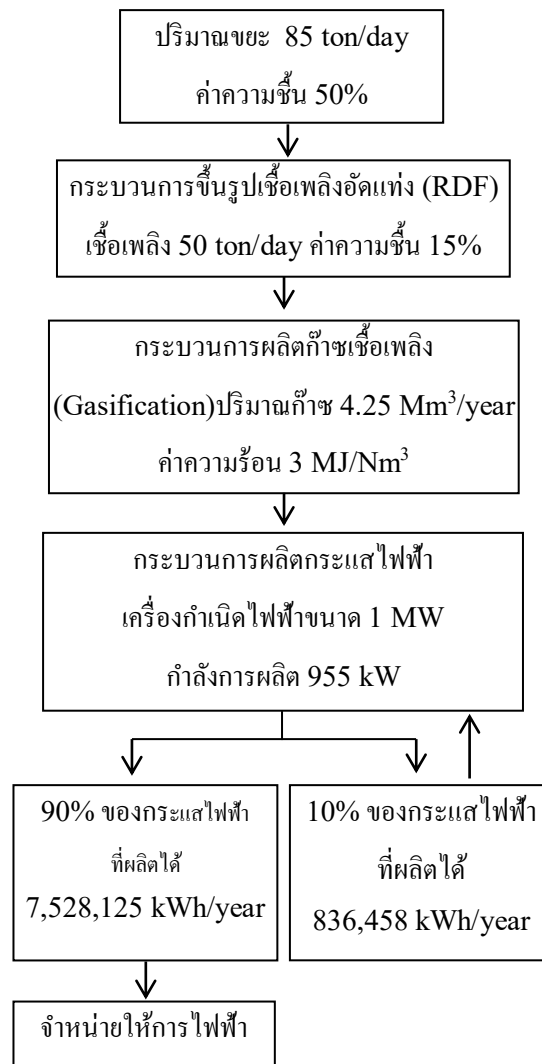
บ่อที่ 1, 2 และ 3 โดยในปีที่ 21 เป็นปีที่มีปริมาณก๊าซสูงสุดเนื่องจากเป็นก๊าซที่ได้จากบ่อที่ 2 3 และ 4



**รูปที่ 4** แผนผังการผลิตไฟฟ้าและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีหลุมฝังกลบจากการใช้ขยะมูลฝอย 85 ตันต่อวัน

รูปที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปีตลอดอายุโครงการ 25 ปี ของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ โดยปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ จากรูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาลนั้นมีกำลังการผลิตและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้ไม่คงที่ในแต่ละปีตามปริมาณก๊าซที่ผลิต ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบมีค่าตั้งแต่ 1.14 Mm³/year ในปีที่มีการผลิต (ปีที่ 10) จนถึงปริมาณสูงสุด 4.16 Mm³/year ในปีที่ 21 และกำลังการผลิตมีค่าต่ำสุดที่ 149 kW ในปีที่ 10 และสูงสุด

ในปีที่ 21 ที่ 545 kW โดยสามารถสรุปขั้นตอน ปริมาณก๊าซชีวภาพ กำลังการผลิตไฟฟ้าและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากหลุมฝังกลบได้ดังรูปที่ 4



**รูปที่ 5** แผนผังการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะแข็งจากการใช้ขยะมูลฝอย 85 ตันต่อวัน

### 3.2 ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

รูปที่ 5 แสดงแผนผังการผลิตไฟฟ้าและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง เมื่อใช้ขยะมูลฝอย 85 ตันต่อวัน

ในกรณีผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย 85 ตันต่อวัน สามารถผลิตเชื้อเพลิง

อัดแท่งได้ 50 คันต่อวัน ดังนั้นก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เท่ากับ 40,150,000 Nm<sup>3</sup>/year จากปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าได้ 955 kW โดยใช้สมการที่ (5) และสมการที่ (6) เมื่อคิดเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปีที่ 8,364,583 kWh จากข้อมูลงานวิจัยของกษมา ศิริสมบุญและคณะ (2557) พบว่า ในการผลิตไฟฟ้าจะมีการป้อนไฟฟ้ากลับเข้าสู่กระบวนการผลิตที่ประมาณ 10% ของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีนี้จึงมีกระแสไฟฟ้า 7,528,125 kWh/year ขายเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า และนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตอีก 836,458 kWh/year

### 3.3 การประมาณเงินลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีหลุมฝังกลบและการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงรายละเอียดประมาณการลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบและเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะแข็ง จากรายละเอียดในตารางพบว่า เทคโนโลยีหลุมฝังกลบใช้เงินลงทุนรวมทั้งต่ำกว่าเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงถึงประมาณสองเท่า โดยค่าใช้จ่ายหลักอยู่ที่ที่ดินซึ่งคิดเป็น 71.25% ของเงินลงทุนทั้งหมด โดยราคาที่ดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้นำมาจากข้อมูลของกรมธนารักษ์ในปี 2555 [14] ส่วนเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมีเงินลงทุนทั้งสิ้น 159,333,000 บาท มีค่าใช้จ่ายหลักอยู่ที่อุปกรณ์หลักซึ่งประกอบด้วย เตาเผาก๊าซซิไฟเออร์ ชุดเจนเนอเรเตอร์ อุปกรณ์เชื่อมต่อเจนเนอเรเตอร์ และเครื่องทำเชื้อเพลิงอัดแท่งคิดเป็น 50% ของเงินลงทุนทั้งหมด

**ตารางที่ 1** เงินลงทุนของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย 85 คันต่อวัน

| รายการ | รายละเอียด                           | ราคา (บาท) | สัดส่วน (%) |
|--------|--------------------------------------|------------|-------------|
| 1      | เงินลงทุนจากบ่อรวบรวมก๊าซและท่อต่างๆ | 6,069,352  | 8           |

**ตารางที่ 1 (ต่อ)** เงินลงทุนของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย 85 คันต่อวัน

| รายการ | รายละเอียด                  | ราคา (บาท) | สัดส่วน (%) |
|--------|-----------------------------|------------|-------------|
| 2      | เครื่องจักรกล               | 7,983,037  | 10          |
| 3      | ค่าใช้จ่ายอื่นๆ             | 1,405,239  | 2           |
| 4      | พาหนะที่ใช้ในการรับกำจัดขยะ | 6,333,000  | 8           |
| 5      | ที่ดิน 90 ไร่               | 54,000,000 | 72          |
| รวม    |                             | 75,790,627 | 100         |

**ตารางที่ 2** เงินลงทุนของการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย 85 คันต่อวัน

| รายการ | รายละเอียด                             | ราคา (บาท)  | สัดส่วน (%) |
|--------|----------------------------------------|-------------|-------------|
| 1      | อุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าและเครื่องอัดแท่ง | 79,500,000  | 50          |
| 2      | งานโยธา                                | 4,800,000   | 3           |
| 3      | ระบบท่อ ระบบน้ำหล่อเย็นพร้อมติดตั้ง    | 9,200,000   | 6           |
| 4      | ระบบบำบัดน้ำ                           | 6,300,000   | 4           |
| 5      | ระบบเตรียมและลำเลียงเชื้อเพลิง         | 20,300,000  | 13          |
| 6      | ระบบกำจัดเถ้า                          | 4,950,000   | 3           |
| 7      | ระบบหม้อแปลงไฟฟ้า                      | 12,700,000  | 8           |
| 8      | ระบบทำความสะอาดก๊าซ                    | 5,100,000   | 3           |
| 9      | ค่าใช้จ่ายอื่นๆ                        | 7,150,000   | 5           |
| 10     | พาหนะที่ใช้ในการรับกำจัดขยะ            | 6,333,000   | 4           |
| 11     | ที่ดิน 5 ไร่                           | 3,000,000   | 2           |
| รวม    |                                        | 159,333,000 | 100         |

### 3.4 รายได้และค่าใช้จ่ายของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบบนถูกสุขาภิบาล

ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านการเศรษฐศาสตร์ คือ โครงการมีอายุ 25 ปี โดยทำการ



วิเคราะห์จาก รายได้และค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการ โดยค่าใช้จ่ายจากการกู้เงินลงทุนใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 6.75% ณ ระดับอัตราคิดลด 6.75% โดยคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยในระยะเวลา 25 ปี ในปีสุดท้ายของโครงการจะมีรายรับจากมูลค่าที่ดินคงเหลือโดยมูลค่าที่ดินจะปรับขึ้น 12.9% ทุก ๆ 4 ปี [15] โดยมูลค่าที่ดินในปีสุดท้ายของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาล 111,829,765 บาท และเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ 6,212,765 บาท

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้และนำมาจำหน่ายในแต่ละปีอยู่ที่ 1,137,040-4,163,307 หน่วยต่อปีขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ในแต่ละปี โดยมีอัตราการรับซื้อกระแสไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff: FiT ที่ 5.60 บาทต่อหน่วย เป็นระยะเวลา 10 ปี [16] และเมื่อหมดระยะเวลาสนับสนุนจะใช้อัตราการรับซื้อแบบ Time of Use: ToU [17] ที่อัตรารับซื้อ 2.5926 บาทต่อหน่วย อัตราค่า Ft ขายส่งเฉลี่ย 0.4087 บาทต่อหน่วย รวมเป็นอัตราการรับซื้อ 3.00 บาทต่อหน่วย และปรับเพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ 3%

โดยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายปีดังนี้ ค่าจ้างพนักงาน 900,000 บาท ปรับเพิ่มขึ้นปีละ 4% ค่าซ่อมบำรุงบ่อฝังกลบทั้ง 4 บ่อ 8,318, 9,427, 10,536 และ 11,923 บาทตามลำดับ ค่าซ่อมเครื่องยนต์ 30,366 บาท ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ 10% จากค่าจ้างพนักงานและค่าซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายในการบริหารงาน 890,892 บาท ค่าใช้จ่ายในการรับกำจัดขยะ 2,554,420 บาท และดอกเบี้ยเงินกู้ 204,635 บาท

### 3.5 รายได้และค่าใช้จ่ายของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จำหน่ายในแต่ละปีอยู่ที่ 8,364,583 หน่วยต่อปี โดยมีอัตราการรับซื้อกระแสไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff: FiT ที่ 3.13 บาทต่อหน่วย อัตราการรับซื้อไฟฟ้าส่วนแปรผัน 3.21 บาทต่อหน่วย รวมเป็นอัตราการรับซื้อ 6.34 บาทต่อหน่วย [16] และอัตราการรับซื้อไฟฟ้าส่วนแปรผันจะปรับเพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ 3%

เป็นระยะเวลา 20 ปี และมีอัตรารับซื้อพิเศษ 0.70 บาทต่อหน่วย ในระยะเวลา 8 ปีแรก และเมื่อหมดระยะเวลาสนับสนุนจะใช้อัตราการรับซื้อแบบ Time of Use: ToU [17] ที่อัตรารับซื้อ 2.5926 บาทต่อหน่วย อัตราค่า Ft ขายส่งเฉลี่ย 0.4087 บาทต่อหน่วย รวมเป็นอัตราการรับซื้อ 3.00 บาทต่อหน่วย และปรับเพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ 3%

โดยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายปีดังนี้ ค่าจ้างพนักงาน 13,680,000 บาท ปรับเพิ่มขึ้นปีละ 4% ค่าซ่อมบำรุง 4,552,917 บาท ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ 10% จากค่าจ้างพนักงานและค่าซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายในการบริหารงาน 1,505,625 บาท ค่าใช้จ่ายในการรับกำจัดขยะ 2,591,455 บาท และดอกเบี้ยเงินกู้ 430,199 บาท

การเปรียบเทียบอัตรารับซื้อไฟฟ้า รายได้จากการผลิตไฟฟ้าและรายละเอียดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของสองเทคโนโลยีได้แสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

**ตารางที่ 3** แสดงการเปรียบเทียบอัตรารับซื้อและรายได้จากการผลิตไฟฟ้าของสองเทคโนโลยี

| รายการ                           | หน่วย     | Landfill Gas                            | MSW-RDF Gasification               |
|----------------------------------|-----------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้             | หน่วย/ปี  | 1,137,040-4,163,307                     | 8,364,583                          |
| อัตราการรับซื้อกระแสไฟฟ้าแบบ FiT | บาท/หน่วย | 5.60 (ตลอดอายุโครงการ)                  | 6.34 (อัตราผันแปรปรับเพิ่มปีละ 3%) |
| อัตรารับซื้อพิเศษ                | บาท/หน่วย | -                                       | 0.70 (8 ปีแรก)                     |
| อัตราการรับซื้อกระแสไฟฟ้าแบบ ToU | บาท/หน่วย | 3.00 (เพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อปีละ 3%) |                                    |
| รายได้ตลอดอายุโครงการ            | บาท       | 256,602,103                             | 1,282,703,75                       |

**ตารางที่ 4** แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่อปีของสองเทคโนโลยี (หน่วย: บาท)

| รายการ                                | Landfill Gas                         | MSW-RDF Gasification |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| ค่าจ้างพนักงาน (ปรับเพิ่มขึ้นปีละ 4%) | 900,000                              | 13,680,000           |
| ค่าซ่อมบำรุงบ่อฝังกลบ รวมทั้ง 4 บ่อ   | 40,204                               | -                    |
| ค่าซ่อมเครื่องยนต์                    | 30,366                               | 4,552,917            |
| ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ                      | 10% จากค่าจ้างพนักงานและค่าซ่อมบำรุง |                      |
| ค่าใช้จ่ายในการบริหารงาน              | 890,892                              | 1,505,625            |
| ค่าใช้จ่ายในการรับกำจัดขยะ            | 2,554,420                            | 2,591,455            |
| ดอกเบี้ยเงินกู้                       | 204,635                              | 430,199              |

### 3.6 ผลการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน อัตราผลตอบแทนภายใน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนและระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ 5 แสดงผลตอบแทนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนและต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าโดยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาลและการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการสร้างผลกำไรพบว่า เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะให้ผลกำไรที่สูงกว่า โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 238,130,898 บาท ซึ่งสูงกว่าเทคโนโลยีหลุมฝังกลบที่มี NPV เท่ากับ 123,644,379 บาท เนื่องจากเป็นระบบที่มีการผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณที่สูงจึงทำให้เกิดรายได้ของโครงการที่สูงกว่า และส่งผลให้ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุนของระบบมีค่าดีกว่า ซึ่งเท่ากับ 24.01% และ 4 ปี 1 เดือน ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาการสร้างผลตอบแทนต่อเงินลงทุนจากอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) พบว่า เทคโนโลยีหลุมฝังกลบมีค่าที่ดีกว่าคือมีค่าเท่ากับ 1.95 เมื่อเทียบกับค่า 1.45 ที่ได้จากเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ เนื่องจากเป็นหลุมฝังกลบใช้การลงทุนเริ่มต้นที่ต่ำกว่า และยังส่งผลให้มีต้นทุนต่อหน่วย

การผลิตที่ต่ำกว่าด้วย คือ 3.26 บาทต่อkWh เมื่อเทียบกับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีต้นทุน 4.89 บาทต่อkWh

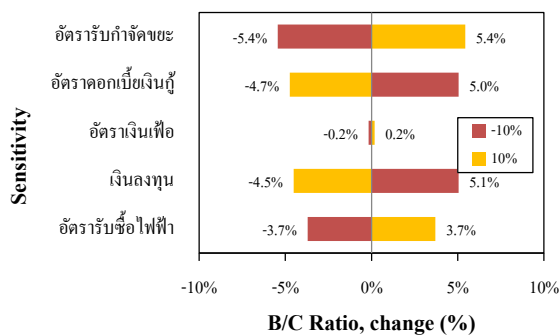
**ตารางที่ 5** แสดงการเปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าและต้นทุนต่อหน่วยของสองเทคโนโลยี

| รายการ    | Landfill Gas | MSW-RDF Gasification |
|-----------|--------------|----------------------|
| NPV (บาท) | 123,644,379  | 238,130,898          |
| IRR       | 17.65%       | 24.01%               |
| PB        | 7 ปี 5 เดือน | 4 ปี 1 เดือน         |
| B/C Ratio | 1.95         | 1.45                 |
| Unit Cost | 3.26 บาท/kWh | 4.89 บาท/kWh         |

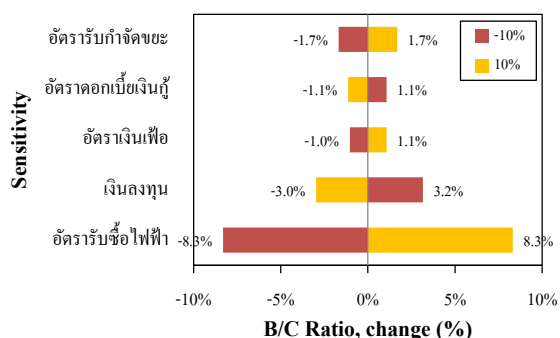
### 3.7 ความอ่อนไหวของโครงการ

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการสำหรับกรณีศึกษานี้ได้พิจารณาตัวแปรส่งผลกระทบต่อรายจ่ายในด้านเงินลงทุน อัตราเงินเฟ้อ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ และตัวแปรส่งผลกระทบต่อรายรับของโครงการในด้านอัตรารับซื้อไฟฟ้า และอัตรารับกำจัดขยะ โดยพิจารณาเมื่อตัวแปรต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงในระดับ  $\pm 10$

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่ออัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) ของระบบ (1) หลุมฝังกลบ และ (2) การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง จากรูปที่ 6 พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบมากที่สุดคือ อัตราการรับกำจัดขยะซึ่งเป็นรายได้หลักในช่วง 5 ปีแรกที่ยังไม่ได้มีการผลิตไฟฟ้า และมีค่ามากกว่ารายได้จากการขายไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาดังแต่ปีที่ 10 ของโครงการ สำหรับเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนมากที่สุดคือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า เนื่องจากระบบดังกล่าวเป็นระบบที่มีรายได้หลักจากการผลิตไฟฟ้าและมีการขายไฟฟ้าในปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับระบบฝังกลบ



(1)

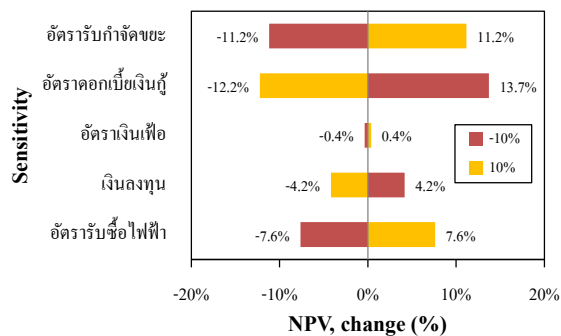


(2)

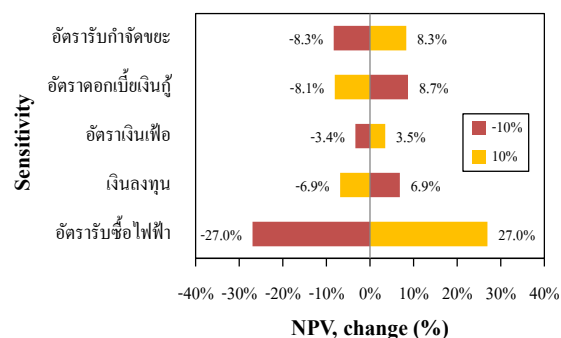
รูปที่ 6 ผลกระทบของอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) จากตัวแปรต่าง ๆ ในระบบเทคโนโลยี (1) หลุมฝังกลบ และ (2) การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของระบบ (1) หลุมฝังกลบ และ (2) การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็งที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า จากรูปที่ 7 พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ NPV ของเทคโนโลยีหลุมฝังกลบมากที่สุดคือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ เนื่องจากการคำนวณใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เป็นอัตราคิดลดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อมูลค่าปัจจุบันรายรับและรายจ่าย และส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

โดยตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนสำหรับเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะแข็งมากที่สุดคือ อัตรารับซื้อไฟฟ้า เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีกำลังการผลิตสูงรวมถึงอัตรารับซื้อไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff ที่สูง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตรารับซื้อทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิรายรับเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด



(1)



(2)

รูปที่ 7 ผลกระทบของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากตัวแปรต่าง ๆ ในระบบเทคโนโลยี (1) หลุมฝังกลบ และ (2) การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงขยะแข็ง

#### 4. สรุปผลการวิเคราะห์

จากการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนจัดตั้งโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาลและเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ โดยใช้ปริมาณขยะที่ผลิต 85 ตันต่อวันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับเทคโนโลยีหลุมฝังกลบจะมีความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 149-545 kW และใช้เงินลงทุนประมาณ 75.79 ล้านบาท ในขณะที่เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะผลิตกระแสไฟฟ้าได้คงที่ที่ 955 kW และใช้เงินลงทุนประมาณ 159.33 ล้านบาท

จากระยะเวลาการดำเนินโครงการทั้งสิ้น 25 ปี พบว่าการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 เทคโนโลยีมีความแตกต่างกัน เทคโนโลยีหลุมฝังกลบแบบถูกสุขาภิบาลมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ

123,644,379 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 17.65% อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) เท่ากับ 1.95 ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 7 ปี 5 เดือน และต้นทุนต่อหน่วย 3.26 บาทต่อหน่วย ในส่วนของเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 238,130,898 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 24.01% อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) เท่ากับ 1.45 ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 4 ปี 1 เดือน และต้นทุนต่อ

หน่วย 4.89 บาทต่อหน่วย ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าทั้ง 2 โครงการมีความคุ้มค่าแก่การลงทุน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับเงินทุนสนับสนุนการทำวิจัย และ คุณภูเทพ ดอนท้วม สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะและรายละเอียดราคาค่าใช้จ่ายต่างๆ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สถานการณ์พลังงานปี 2556 และแนวโน้มปี 2557. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.dede.go.th>.
- [2] สถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2556. ข่าวสารสิ่งแวดล้อม, กองแผนงานและประเมินผล, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2557. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th>.
- [3] จิรวัดน์ ชินมณี และ จุลละพงษ์ จุลละโพธิ. การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศไทย. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2557; 20 (1): 50–61.
- [4] สมหวัง ชินวานิชย์เจริญ, สราวุธ แก้วแก้มทอง และอัครชัย มีหวัง. การวิเคราะห์ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์การเปลี่ยนขยะชุมชนเป็นพลังงานด้วยเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง: กรณีศึกษาเทศบาลนครขอนแก่น. *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พลังงานทดแทน)*, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดกรุงเทพมหานคร, 2551.
- [5] เพชรดา เวณันท์, วารุณี ลิขิตสุทิน และ ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยชุมชน. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 2554; 15 (3): 26–34.
- [6] สถานภาพโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2049>.
- [7] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนจากพลังงานขยะ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2554. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/867>.
- [8] *Landfill Gas Emissions Mode: LandGEM*. United State Environmental Protection Agency, 2005. [Online] Available: [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- [9] แนวทางการฟื้นฟู/ปรับปรุงสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: [www.pcd.go.th](http://www.pcd.go.th).
- [10] ขวลิต แซ่ลิ่ม. แนวทางการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบในประเทศไทย. *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน)*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [11] Dogru, M., Akay, G., Calkan, O.F., Fordham A., and Lewis, M. Intensified fixed bed 1.2 MWe gasification of RDF plant for power generation: Initial results. The 7<sup>th</sup> European gasification conference 2006, Barcelona, Spain, 2006.

- [12] สถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทยปี พ.ศ. 2556. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: [www.pcd.go.th](http://www.pcd.go.th)
- [13] กษมา ศิริสมบุญ และจิตาภา นิ่มนวลพานิช. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าพลังงานจากขานอ้อยสำหรับโรงงานน้ำตาล. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 2557; 31(3): 37–42.
- [14] สรุปราคาประเมินทุนทรัพย์ที่ดิน รอบบัญชี ปี พ.ศ. 2555-2558. กรมธนารักษ์, กระทรวงการคลัง, 2555. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: [www.dede.go.th](http://www.dede.go.th).
- [15] การเปลี่ยนแปลงของราคาประเมินที่ดินทั่วประเทศไทยปี 2558. ธนาคารอาคารสงเคราะห์, 2555. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: [www.ghbhomecenter.com](http://www.ghbhomecenter.com).
- [16] นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบ Feed-in Tariff. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2557. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th).
- [17] ราคารับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก. การไฟฟ้านครหลวง, 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: [www.mea.or.th](http://www.mea.or.th).