การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะในสถานศึกษา : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาค้นคว้าอิสระ

ของ

ณุกานดา ธัญญเจริญ

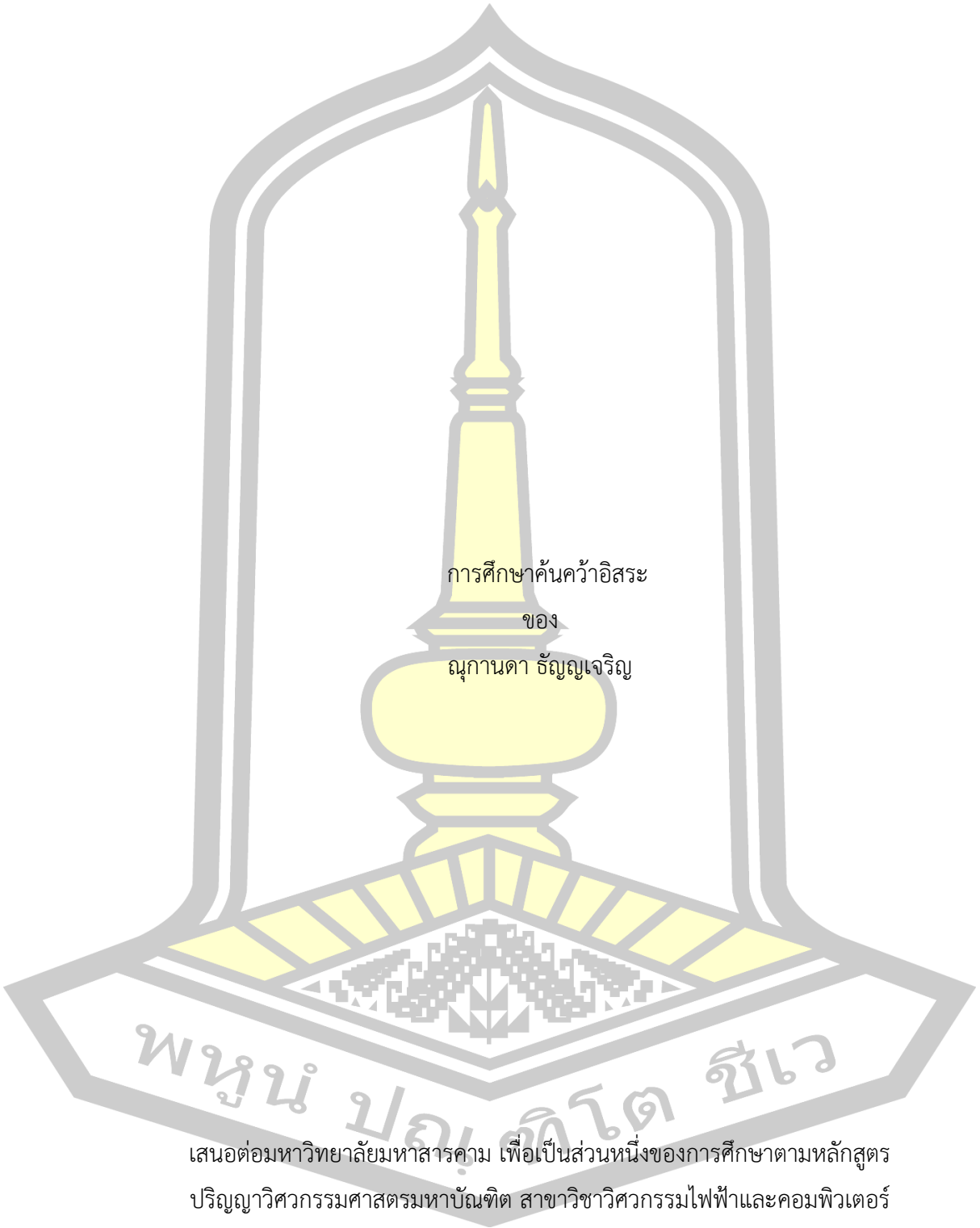
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะในสถานศึกษา : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การศึกษาค้นคว้าอิสระ

ของ

ณุกานดา ธัญญเจริญ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The cost analysis of electricity generation from waste in educational institution : case study of Mahasarakham University

Nukanda Thanyacharoen

A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

June 2023

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของ นางสาวณุกานดา ธัญญเจริญ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. สุพรรณนิกา วัฒนะ)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. บัญชา วัฒนะ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะในสถานศึกษา : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้วิจัย ณุกานดา ธัญญเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะในสถานศึกษาเป็นแหล่งเชื้อเพลิง โดยใช้มหาวิทยาลัยมหาสารคามเป็นกรณีศึกษาภายใต้เงื่อนไขโรงผลิตมีขนาด 1.5 MW อายุโครงการ 20 ปี และอัตราดอกเบี้ย 10 % ซึ่งใช้ขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 3 พื้นที่ ประกอบด้วย เขตพื้นที่ในเมือง เขตพื้นที่ขามเรียง และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีปริมาณขยะโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ตันต่อวัน การศึกษาครั้งนี้ใช้ขยะป้อนโรงไฟฟ้าอัตรา 1 ตันต่อชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า การใช้เชื้อเพลิงจากขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามเพียงอย่างเดียวและการใช้เชื้อเพลิงจากขยะภายในร่วมกับขยะชุมชนเพื่อเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เพียงอย่างเดียวมีระยะคืนทุนมากกว่าอายุของโครงการ ส่วนการลงทุนโรงผลิตไฟฟ้าด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามเพียงอย่างเดียวผลิตไฟฟ้าเพื่อขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีระยะคืนทุนมากกว่าอายุของโครงการเช่นกัน ในขณะที่การลงทุนโรงผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงจากขยะภายในร่วมกับขยะชุมชนมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 66,070,249.78 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 13% มีระยะเวลาคืนทุน 11 ปี

โดยสรุปแล้วการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคด้วยเชื้อเพลิงจากขยะภายในและภายนอกจะเกิดความคุ้มค่าและน่าลงทุนมากกว่า เนื่องจากได้รับการการสนับสนุนเชิงนโยบายจากรัฐบาลในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะ

คำสำคัญ : โรงไฟฟ้าจากขยะ, เทคโนโลยีกำจัดขยะ, การผลิตพลังงานจากขยะ, ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะในสถานศึกษา

TITLE The cost analysis of electricity generation from waste in educational institution : case study of Mahasarakham University

AUTHOR Nukanda Thanyacharoen

ADVISORS Assistant Professor Nattawoot Suwannata , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2023

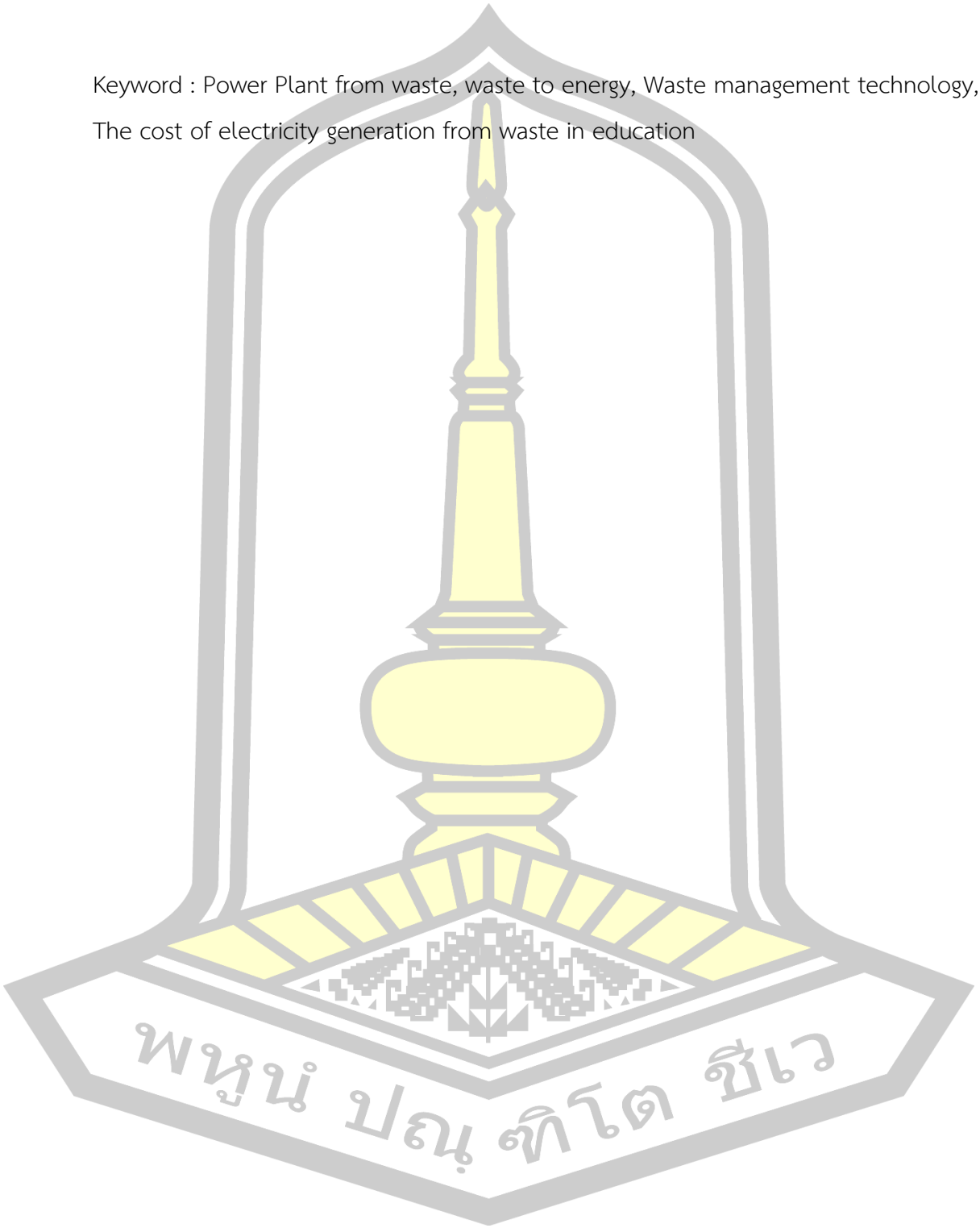
ABSTRACT

This research involves studying and analyzing the cost-effectiveness of using waste from educational institutions as a source of fuel for power plants. Mahasarakham University was chosen as a case study, with a 1.5 MW power plant, a project lifespan of 20 years, and an interest rate of 10%. The waste collected from three areas of Mahasarakham University, including the urban areas, Khamriang area, and the Demonstration School, amounts to an average of 5 tons per day. The study found that using fuel from waste within Mahasarakham University alone, as well as using fuel from internal waste and municipal waste to generate electricity for internal use, both cases have payback periods longer than the project lifespan. In the case of investing in a power plant to sell electricity to the Provincial Electricity Authority using fuel from internal waste alone, the payback period is also longer than the project lifespan. However, investing in a power plant fueled by internal waste and municipal waste to sell electricity to the Provincial Electricity Authority has a net present value (NPV) of 66,070,249.78 baht, an internal rate of return (IRR) of 13%, and a payback period of 11 years.

In summary, investing in a power plant to generate and sell electricity to the Provincial Electricity Authority using both internal and external waste fuels would be worthwhile and attractive, given the government's policy support for producing

electricity from waste.

Keyword : Power Plant from waste, waste to energy, Waste management technology, The cost of electricity generation from waste in education



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณนิกา วัฒนะ รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธี โพธิ์ทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ กรรมการสอบ และที่สำคัญท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา ผู้ที่คอยให้คำปรึกษาแนวทางในการศึกษา อีกทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณ นางสาวจุฬาลักษณ์ ปะวันนา เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไปพร้อมทีมงานกองอาคารสถานที่มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ช่วยเหลือข้อมูลปริมาณและประเภทของขยะ รวมถึง นางจารุณีย์ รัตน์พระ หัวหน้างานจัดการพลังงานและมหาลัยสีเขียว และนายวาธิต สาลี หัวหน้างานผังแม่บทและข้อมูลที่ดินสิ่งก่อสร้าง ที่ได้ช่วยเหลือข้อมูลในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม และที่ขาดมิได้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ชี้แนะแนวทาง และบิดา มารดา ผู้เป็นครอบครัวให้กำลังใจในการศึกษาทั้งยังสนับสนุนทุกๆด้านด้วยดี เสมอมา จนสามารถสำเร็จการศึกษาได้ในครั้งนี้

ณุกานดา ธัญญเจริญ

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฐ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 5

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ชีวมวล (Biomass) 5

2.1.1 การเผาไหม้โดยตรง (combustion) 6

2.1.2 การผลิตก๊าซ (gasification) 6

2.1.3 การหมัก (fermentation) 6

2.1.4 การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช 6

2.2 ขยะ (Waste) 7

2.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะ 11

2.3.1 เทคโนโลยีเผาขยะในระบบเตาเผา (Incineration) 11
2.3.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasificition) 16
2.3.3 เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) 21
2.3.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas to Energy Technology) 35
2.3.5 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) 53
2.4 การวิเคราะห์ต้นทุน 56
2.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) 57
2.4.2 อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) 57
2.4.3 ระยะคืนทุน (Payback Period: PB) 58
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 58
บทที่ 3 61
วิธีดำเนินการวิจัย 61
3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษา 61
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา 63
3.3 กรอบแนวคิดการทำวิจัย 63
บทที่ 4 64
ผลการวิจัย 64
4.1 การรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณขยะและทางเลือกในการจัดการขยะ 64
4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน 64
4.3 ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, HHV) 66
4.4 ค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value, LHV) 66
4.5 เกณฑ์การพิจารณา 66
4.6 การคำนวณหาค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, HHV) 66

4.7 การคำนวณค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value, LHV) 70
4.8 เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าด้วยวิธีการเผา 71
4.9 ต้นทุนของการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ 72
4.10 รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า 74
4.11 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ 76
บทที่ 5 84
สรุปผลการวิจัย 84
5.1 สรุปผลการศึกษา 84
5.2 ข้อเสนอแนะ 85
บรรณานุกรม 86
บรรณานุกรม 87
ประวัติผู้เขียน 90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาเผาชนิดมีแผงตะกรับ (Stoker-Fired or grate-Fired Incinerator) 13

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Incinerator)..... 14

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)..... 16

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะของ Feed ของระบบบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์แบบต่างๆ 22

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่างๆ 24

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ 33

ตารางที่ 7 แสดงปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบ 36

ตารางที่ 8 สรุปการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ 51

ตารางที่ 9 รูปแบบที่เป็นไปได้สำหรับการใช้ประโยชน์ LFG..... 52

ตารางที่ 10 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้ 54

ตารางที่ 11 แสดงคุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูป..... 56

ตารางที่ 12 งบประมาณในการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม..... 62

ตารางที่ 13 งบประมาณค่าการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม..... 62

ตารางที่ 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน 64

ตารางที่ 15 ค่า HHV ที่ได้จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 70

ตารางที่ 16 ขนาดของระบบผลิตพลังงาน และกำลังการผลิตไฟฟ้า..... 72

ตารางที่ 17 ต้นทุนงานก่อสร้างภายนอกอาคาร..... 72

ตารางที่ 18 ต้นทุนงานก่อสร้างอาคาร..... 73

ตารางที่ 19 ต้นทุนงานก่อสร้างบ่อฝังกลบเถ้าและระบบบำบัดน้ำเสีย..... 73

ตารางที่ 20 ต้นทุนงานระบบเฉพาะ 73

ตารางที่ 21 ต้นทุนค่าจ้างบุคลากรรายเดือน 74
ตารางที่ 22 ชั่วโมงการทำงาน (08.00 - 19.00 น.) 75
ตารางที่ 23 ค่าใช้จ่ายของการสร้างโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5 MW 76
ตารางที่ 24 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีผลิตไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัย 76
ตารางที่ 25 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีผลิตไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะชุมชน 77
ตารางที่ 26 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีขายไฟฟ้าด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัย 78
ตารางที่ 27 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีขายไฟฟ้าด้วยขยะชุมชน 79
ตารางที่ 28 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตใช้เองด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 80
ตารางที่ 29 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตใช้เองด้วยขยะชุมชน 81
ตารางที่ 30 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตขายด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 81
ตารางที่ 31 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตขายด้วยขยะชุมชน 82

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ชีวมวล 5
ภาพประกอบ 2 ขยะมูลฝอย 7
ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงสัดส่วนของปริมาณองค์ประกอบขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 10
ภาพประกอบ 4 เตาเผาชนิดมีแผงตะกรับ (Stoker-Fired or grate-Fired Incinerator) 13
ภาพประกอบ 5 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Incinerator) 14
ภาพประกอบ 6 เตาเผาชนิดควบคุมการเผาไหม้ (Controlled-Air Incinerator) 15
ภาพประกอบ 7 เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) 16
ภาพประกอบ 8 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasificition) 16
ภาพประกอบ 9 Updraft Gasifier 17
ภาพประกอบ 10 Downdraft Gasifier 18
ภาพประกอบ 11 Fluid Bed Gasifier 19
ภาพประกอบ 12 Entrained Bed Gasifier 20
ภาพประกอบ 13 แสดงขั้นตอนการสร้างก๊าซชีวภาพจากแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนต่างๆ 21
ภาพประกอบ 14 แผนผังแสดงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรูปแบบต่างๆ 23
ภาพประกอบ 15 รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราต่ำและแบบสูง 25
ภาพประกอบ 16 รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน 25
ภาพประกอบ 17 รูปแสดงถังย่อยแบบสัมผัส 26
ภาพประกอบ 18 รูปแสดงถังย่อยแบบแยกเชื้อ 26
ภาพประกอบ 19 รูปแสดงตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศ 27
ภาพประกอบ 20 รูปแสดงชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ 28

ภาพประกอบ 21 รูประบบยูเอเอสบีและรูปภาพตัดขวางของถังหมักแบบ EGSB 29
ภาพประกอบ 22 รูประบบ Anaerobic Baffled Reactor 29
ภาพประกอบ 23 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR 30
ภาพประกอบ 24 รูปแสดงบ่อหมักไม่ใช้อากาศปิดฝาที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ 31
ภาพประกอบ 25 รูปแสดงการปรับสภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 32
ภาพประกอบ 26 รูปแสดงการนำตะกอนเหลวที่ผ่านการย่อยสลายแล้วไปใช้ในรูปของปุ๋ยน้ำ 32
ภาพประกอบ 27 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน 35
ภาพประกอบ 28 แผนภาพการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล 38
ภาพประกอบ 29 การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ (Sanitary Landfill Operation) 39
ภาพประกอบ 30 การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) 39
ภาพประกอบ 31 การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) 40
ภาพประกอบ 32 ระบบรวบรวมก๊าซแบบผสมผสาน (Hybrid Collection System) 41
ภาพประกอบ 33 ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Active System 41
ภาพประกอบ 34 ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Physical Barrier 42
ภาพประกอบ 35 ลักษณะความลาดชันของพื้นหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อวางระบบรวบรวมน้ำชะขยะ 44
ภาพประกอบ 36 รูปแสดงความแตกต่างระหว่างการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน 46
ภาพประกอบ 37 ลักษณะของ Surface Pond ที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะขยะ 49
ภาพประกอบ 38 รูปแสดงหลักการในการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจาก Bioreactor Landfill 50
ภาพประกอบ 39 รูปแสดงขั้นตอนในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ 55
ภาพประกอบ 40 กรอบแนวคิดการวิจัย 63
ภาพประกอบ 41 รูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ 71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ มีความต้องการใช้พลังงานทั่วโลก ในด้านต่างๆ เช่น การสื่อสาร การคมนาคม ภาคอุตสาหกรรม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2550) ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจการเพิ่มผลผลิตทั้งเกษตรรวมและอุตสาหกรรมที่ทันสมัย การกระจายรายได้ และสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในด้านการผลิต ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ เนื่องด้วยการขยายตัวประชากรและการขยายตัวของเศรษฐกิจได้ดำเนินอยู่ตลอดเวลา ทำให้กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปัจจุบัน พ.ศ.2564 ประมาณ ใช้ก๊าซธรรมคิดเป็นร้อยละ 56.47 ถ่านหิน (รวมลิกไนต์) คิดเป็นร้อยละ23.37 พลังงานหมุนเวียน (พลังน้ำ,อื่นๆ)คิดเป็นร้อยละ 17.47 น้ำมันเตาคิดเป็นร้อยละ 0.50 น้ำมันดีเซลคิดเป็นร้อยละ 0.88 อื่นๆ (สปป.ลาว,มาเลเซีย,ลำตะคองชลภาวัฒนา) คิดเป็นร้อยละ 1.31 (พิสิษฐ์ ทองดีเลิศ, 2016) การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยจากการรายงานสถานการณ์พลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษณ์พลังงาน พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดจากก๊าซธรรมชาติ 20,981 พันตันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ การใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน มีปริมาณ 2,633 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ความร้อน มีปริมาณ 4,188 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพ มีปริมาณการใช้ ประกอบด้วย เอทานอล 559 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และไบโอดีเซล 1,186 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษณ์พลังงานมีเป้าหมายและภารกิจคือการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ.2580 ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2561-2580 (AEDP 2018) มีการคาดการณ์ในอนาคตอันใกล้นี้จะเกิดภาวะขาดแคลนพลังงานปัจจุบันประเทศไทยได้นำเข้าพลังงานมีปริมาณ 65,231 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ มีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 จากช่วง เดียวกันของปีก่อน

เนื่องจากวิฤตการณ์ด้านพลังงานที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องรวมถึงการลดลงของทรัพยากรในประเทศไทย ส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานเป็นจำนวนมาก การใช้พลังงานทดแทนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจโดยการนำชีวมวล หรือขยะมูลฝอย มาเป็นเชื้อเพลิง (ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, 2020) โดยชีวมวล หรือ มวลชีวภาพ (Biomass) หมายถึง

สารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ (พราว พรรณ และคณะ, 2019) โดยไม่นับการกลายเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลไปแล้ว โดยมากมาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร หรือ กากจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ใบและยอดอ้อย เศษไม้ เส้นใยและกะลาปาล์ม กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว ส่าเหล้า ขยะมูลฝอย น้ำเสียจากโรงงาน หรือแม้กระทั่งมูลสัตว์ต่างๆ ฯลฯ (Nortoualee, L. 2564) หรือ ขยะมูลฝอย (Waste) หมายถึงสิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้ หรือไม่ต้องการใช้งานแล้ว (Insee, N., & Khiawlueng, T. 2022). บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (Solid Waste) ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ สมอง หลอดเลือด ระบบประสาท ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ส่งกลิ่นเหม็น รวมถึงเป็นแหล่งอาหารและแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์และแมลงพาหะนำโรค ขยะที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีแหล่งที่มากจากแหล่งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งขยะในแต่ละวันประกอบด้วยเศษอาหาร กระดาษ เศษแก้ว เศษไม้ พลาสติก เศษดิน เศษหิน ใบไม้ ขี้เถ้า เป็นต้น (นาฎกมล จำรัสกาญจน์. 2557) โดยปริมาณขยะจะมีความแตกต่างกันตามแหล่งที่มา ซึ่งวิธีการกำจัดขยะที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ การนำไปเผาในเตาเผา การนำไปหมักเพื่อทำปุ๋ย การหมุนเวียนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การนำไปเป็นอาหารสัตว์ และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งปัจจุบันมหาวิทยาลัยมหาสารคาม พบว่า ขยะมูลฝอยประเภททั่วไปมีปริมาณมากที่สุด ค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 72.62 เนื่องจากภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามมีร้านจำหน่ายอาหารจำนวนมากโดยเฉพาะจุดโรงอาหารกลางซึ่งผู้ประกอบยังใช้ถุงพลาสติกเป็นส่วนใหญ่จึงก่อให้เกิดขยะประเภทนี้มากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาเป็นขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 17.41 9.52 และ 0.45 ตามลำดับ ซึ่งมหาวิทยาลัยได้จัดทำข้อตกลงในการกำจัดขยะกับเทศบาลเมืองมหาสารคาม เฉลี่ยปีละ 596,400 บาทต่อปี ในกรณีมีมาตรการโควิด และสูงสุด 851,420 บาทต่อปี ในกรณีไม่มีมาตรการโควิด ส่งผลในการผลิตไฟฟ้าจากขยะจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่น่าสนใจ ที่จะช่วยเป็นการแก้ไขปัญหาที่ยั่งยืน

การผลิตไฟฟ้าจากขยะจะช่วยลดปัญหาปริมาณขยะที่มีมากขึ้นที่จะมีผลกระทบกับมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เสียหายไปโดยสาเหตุที่เกิดจากขยะ (ไพรัตน์ ฉิมหาด และคณะ, 2021) อีกทั้งยังสร้างพลังงานไฟฟ้าสะอาดทดแทนให้กับมหาวิทยาลัยมหาสารคามโดยการเลือกใช้วัสดุที่เหลือใช้ เช่น ขยะมูลฝอย เศษซากอาหาร สิ่งปฏิกูล เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากต่างประเทศ หรือการจ้างฝังกลบขยะ ในปัจจุบัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดกำจัดขยะเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานทดแทน มีดังนี้เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration) เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasification) เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy Technology) เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) และ

เทคโนโลยีพลาสม่าอาร์ค (Plasma Arc) (จิตรา รู้กิจการพานิช & นุชนาถ สุขสมัย, 2020) อย่างไรก็ตามกำลังผลิตไฟฟ้าจากขยะจำเป็นต้องวิเคราะห์ต้นทุนในการก่อสร้างและเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัด เพื่อเป็นการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ ซึ่งผลจากการศึกษาจะสามารถนำมาประกอบการตัดสินใจในการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าจากขยะว่าจะคุ้มค่าหรือไม่ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนโดยอาศัยเครื่องมือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) และอัตราคิดลด (Discount Rate) ซึ่งอัตราคิดลด คืออัตราที่ใช้คำนวณในการนำมูลค่าอนาคตย้อนกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน และระยะคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะเวลาที่ใช้บอกว่าโครงการจะได้ต้นทุนที่ลงทุนไปคืนมาในระยะเวลาเท่าไหร่โดยคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ระยะเวลาคืนทุน = เงินทุนที่ลงทุนทั้งหมด / ผลประโยชน์สุทธิที่จะได้รับในแต่ละเดือน (หรือปี) ตัวเลขที่ได้จากสูตรดังกล่าวจะมีหน่วยเป็นเดือน(ปี) (สมจิตรติยา ศรีสุวรรณ และคณะ, 2012) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาวิเคราะห์วิธีการนำเทคโนโลยีเพื่อมาเลือกใช้ในการกำจัดขยะให้เหมาะสมกับโรงไฟฟ้ากำจัดขยะ และต้นทุน/ผลประโยชน์ ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ เพื่อใช้เป็นข้อมูล และประกอบการตัดสินใจในการก่อสร้างเพื่อเลือกใช้พลังงานทดแทนจากขยะ

ดังที่กล่าวมาขั้นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์เลือกใช้เทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากขยะ รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนโครงการก่อสร้างการผลิตไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อทราบวิธีการหาต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการรวมถึงระยะเวลาในการคืนทุนหากมีการก่อสร้างโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะในอนาคต เพื่อพัฒนาไปสู่การจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาวิเคราะห์การเลือกใช้เทคโนโลยีในการกำจัดขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามให้เหมาะกับการผลิตไฟฟ้าจากขยะ รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะ เพื่อความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้จะศึกษาประเภทของขยะรวมถึงศึกษาวิธีการแปรรูปขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามเป็นพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ สู่การผลิตกระแสไฟฟ้า และศึกษาต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบวิธีการแปรรูปขยะจากเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนขยะเป็นพลังงานไฟฟ้า

1.4.2 ทราบวิธีหาต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะ และระยะเวลาในการคืนทุนหากมีการก่อสร้างของการ เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจเป็นแนวทางในการหาวิธีกำจัดขยะ เพื่อความคุ้มค่าในการลงทุนของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการใช้พลังงานจากขยะเป็นพลังงานทดแทนสู่การจัดการพลังงานในอนาคตอย่างยั่งยืน

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Srinakorn, P., & Tantikamton, K. 2019) การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน ตัวอย่างเช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ เป็นต้น

ภาพประกอบ 1 ชีวมวล

ที่มา : (https://kaewchem.wordpress.com : เว็บไซต์)

พลังงานชีวมวล (Bio-energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ (พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น, 2013) โดยแยกกระบวนการแปรูปชีวมวลไปเป็นพลังรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้

2.1.1 การเผาไหม้โดยตรง (combustion)

เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่าง ชีวมวลประเภทนี้ คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้ (Phakphoom และคณะ 2022).

2.1.2 การผลิตก๊าซ (gasification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า แก๊สชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (gas turbine) (ฐิติกร กิจจนศิริ. 2014).

2.1.3 การหมัก (fermentation)

เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดแก๊สชีวภาพ (biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า (ศศิประภา เกตุพิมล และคณะ 2020).

2.1.4 การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช

มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

1) กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลังให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

2) กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

3) กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้ความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการแปรรูปชีมวลไปเป็นพลังงานต่างๆ (ณัฐวรรณ สืบนันตา. 2564) ได้มีดังนี้

3.1) การสันดาป (Combustion Technology) การสันดาปเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วพร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ในการเผาไหม้ ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วน ๆ แต่จะใช้อากาศแทน เนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21% โดยปริมาณ หรือ 23% โดยน้ำหนัก

3.2) การผลิตเชื้อเพลิงเหลว (Liquidification Technology)

3.3) การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Technology) กระบวนการ Gasification เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงแบบ Thermal Conversion โดยมีส่วนประกอบของ Producer gas ที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H2) และมีเทน (CH4)

3.4) การผลิตก๊าซโดยการหมัก (Anaerobic Digestion Technology) การผลิตก๊าซจากชีวมวลทางเคมีด้วยการย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่ไม่มีอากาศหรือไม่มีออกซิเจนซึ่ง เรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ได้ก๊าซมีเทน (CH4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) เป็นหลัก

3.5) การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

3.6) เตาแก๊สชีวมวล เตาแก๊สชีวมวลเป็นเตาที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหุงต้มอาหารในครัวเรือน โดยใช้เศษไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง โดยมีหลักการทำงานแบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล (Gasifier) แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่ที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วนแล้วไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่องอื่นๆ เพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง ที่สามารถติดไฟได้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H2) และแก๊สมีเทน (CH2) เป็นต้น

2.2 ขยะ (Waste)

ความหมายของขยะ (Waste) ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถานฉบับ พ.ศ. 2525 กล่าวว่า มูลฝอย หมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากเยื่อ “ขยะ” หมายถึงหยากเยื่อ มูลฝอย

ภาพประกอบ 2 ขยะมูลฝอย

ที่มา : (https://www.matichonweekly.com : เว็บไซต์)

พระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความ มูลฝอย หมายถึง สิ่งต่างๆ ที่เราไม่ต้องการ ที่เป็นของแข็งหรืออ่อน มีความชื้น ได้แก่ เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร ถุงพลาสติก ภาชนะกล่องใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ หรือซากสัตว์รวมตลอดถึงวัตถุอื่น สิ่งใดที่เก็บกวาดได้จากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความของคำว่าของเสีย หมายความว่า ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสารหรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ที่อยู่ในสภาพของแข็งของเหลวหรือก๊าซ ในทางวิชาการจะใช้คำว่า ขยะมูลฝอย ซึ่งหมายถึง บรรดาสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของแข็ง จะเน่าเปื่อยหรือไม่ก็ตาม รวมตลอดถึง เถ้า ซากสัตว์ มูลสัตว์ ฝุ่นละออง และเศษวัตถุที่ทิ้งแล้วจากบ้านเรือน ที่พักอาศัย สถานที่ต่าง ๆ รวมถึงสถานที่สาธารณะ ตลาดและโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้น อุจจาระ และปัสสาวะของมนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งปฏิกูล วิธีจัดเก็บและกำจัดแตกต่างไปจากวิธีการจัดขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอย คือ ของเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตและการใช้สอยของมนุษย์ซึ่งเป็นปัญหาของโลกสมัยใหม่ การเติบโตของเมืองที่มีขนาดใหญ่อย่างรวดเร็ว อาจจะมีขยะมูลฝอยที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด เช่น มูลฝอยจากบ้านเรือนส่วนใหญ่จะเป็นเศษอาหารที่เหลือจากการปรุงอาหารและการบริโภค รวมทั้งเศษอาหาร พลาสติกและของที่ไม่ใช้แล้ว มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรมก็มีลักษณะต่างๆ เปลี่ยนแปลงตามประเภทของอุตสาหกรรมนั้นๆ มูลฝอยที่ถูกทิ้งอยู่ตามถนน แม่น้ำ ลำคลอง ที่สาธารณะต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นใบไม้เศษกระดาษ ถุงพลาสติก เศษ ดิน เป็นต้น ซึ่งมูลฝอยเหล่านี้หากไม่ได้ถูกกำจัดอย่างถูกวิธีนอกจากจะทำให้ชุมชนขาดความสะอาดเรียบร้อย ยังทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสภาพแวดลอมอย่างมากมาย เช่น การปนเปื้อนของแหล่งน้ำ และการปนเปื้อนของอากาศ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่กระจายของเชื้อโรค ตลอดจนก่อให้เกิด ความรำคาญต่างๆ จากกลิ่น ฝุ่นละออง ตลอดจนเป็นต้นเหตุของอัคคีภัยได้อีกด้วย

ขยะมูลฝอยหรือสิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามลักษณะการกำจัดขยะแบบผสมผสานได้แก่ ขยะมูลฝอยที่เผาไม่ได้ (เช่น เศษไม้ ใบหญ้า พลาสติก กระดาษ สิ่งทอ ยาง เป็นต้น) ขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ (เช่น เศษโลหะ เหล็ก แก้ว กระเบื้อง เป็นต้น) ขยะมูลฝอยที่ไม่เป็นพิษหรือขยะมูลฝอยทั่วไป (เช่น ขยะมูลฝอยที่เกิดจากบ้านเรือน ร้านค้า ชุมชน เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก เป็นต้น) ขยะมูลฝอยที่เป็นพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์ตลอดจนสิ่งแวดล้อมอื่นๆ (เช่น ของเสียที่มีส่วนประกอบของสารอันตรายหรือของเสียที่มีฤทธิ์กัดกร่อนหรือติดไฟง่าย ของเสียที่มีเชื้อโรคติดต่อปะปน ซากถ่านไฟฉาย ซากแบตเตอรี่ ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ กาก สารเคมี ลำสี และผ้าพันแผลจาก

โรงพยาบาล เป็นต้น) แบ่งประเภทขยะตามลักษณะของส่วนประกอบของขยะมูลฝอย มีประเภทต่างๆ ดังนี้

1) กระดาษ ถุงกระดาษ กล่อง ลัง เศษกระดาษจากสำนักงาน

2) พลาสติก มีความทนทานต่อการทำลายได้สูง วัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก เช่น ถุงภาชนะ ของเด็กเล่น ของใช้

3) แก้ว วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแก้ว เช่น ขวด หลอดไฟ เศษกระจก

4) เศษอาหาร ผัก ผลไม้ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ย่อยสลายได้ง่าย เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ขยะเกิดกลิ่นเหม็น ส่งกลิ่นรบกวนหากไม่มีการเก็บขนออกจากแหล่งทิ้งทุกวัน

5) ผ้าสิ่งทอต่าง ๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ และใยสังเคราะห์ เช่น ผ้าไนล่อน ขนสัตว์ ลินิน ฝ้าย

6) ยางและหนัง เช่น รองเท้า กระเป๋า บอลล์

7) ไม้ เศษเฟอร์นิเจอร์ โต๊ะ เก้าอี้

8) หิน กระเบื้อง กระดูก และเปลือกหอย พวกนี้ไม่เน่าเปื่อย พบมากในแหล่งก่อสร้างตึกที่ทุบทิ้ง

9) โลหะต่าง ๆ เช่น กระป๋อง ลวด สายไฟ ตาปู

10) อื่น ๆ ที่ไม่อาจจัดกลุ่มได้ ซึ่งจะแบ่งประเภทขยะตามแหล่งที่มา ดังนี้

10.1) ขยะมูลฝอยจากถนน (Street Refuse) ได้แก่ เศษสิ่งของต่าง ๆ ที่ปรากฏและกวาดจากถนน ตรอก ซอย เช่น เศษกระดาษ ผง ฝุ่น ใบไม้ พลาสติก อิฐ หิน ทราย กรวด

10.2) ขยะมูลฝอยที่เกิดจากสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ที่เรียกว่า ขี้เถ้า (Ashes) เช่น เถ้าที่เกิดจาก เตาไฟ, การเผาถ่าน ฯลฯ

10.3) ขยะมูลฝอยจากการก่อสร้าง (Construction Refuse) ได้แก่ เศษวัสดุก่อสร้าง เช่น เศษไม้ เศษกระเบื้อง เศษปูน อิฐหัก ฯลฯ

10.4) ขยะมูลฝอยจากการรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง (Demolition Refuse) ได้แก่ เศษสิ่งที่ไม่ต้องการที่เกิดจากการรื้อถอนอาคาร บ้านเรือนเก่า ฯลฯ

10.5) ซากสัตว์ (Dead Animal) จากสัตว์ตาย เน่าเปื่อย เหม็น

10.6) ซากยานพาหนะ (Abandond Vehicles) ทุกชนิดที่หมดสภาพ ใช้งานไม่ได้ รวมทั้งชิ้นส่วนประกอบ เช่น แบตเตอรี่ ยาง ฯลฯ

10.7) ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Refuse) ได้แก่ เศษวัตถุที่เกิดจากการผลิต หรือขั้นตอนการผลิต

10.8) ขยะมูลฝอยประเภททำลายยาก (Hazardous Refuse) ได้แก่ ขยะมูลฝอยที่ต้องการใช้กรรมวิธีทำลายเป็นพิเศษ เช่น พลาสติก ฟิลม์ถ่ายรูป กากแร่ธาตุต่างๆ

10.9) ขยะสด (Garbage)

10.10) ขยะแห้ง (Rubbish)

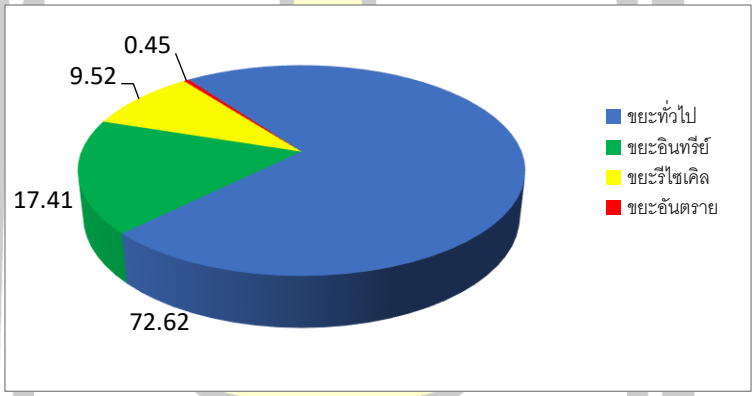
10.11) ขยะพิเศษ (Special Wastes)

10.12) ของใช้ชำรุด (Buldy Wastes)

10.13) ขยะจากการกสิกรรม (Agricultural Wastes)

10.14) กากตะกอนของน้ำโสโครก (Sewage treatment residues)

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นเขตพื้นที่ชุมชน ซึ่งมีการศึกษา สำรวจ และวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้สำรวจและ วิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอย โดยศึกษาถึงคุณลักษณะของขยะมูลฝอยทางกายภาพ (Physical Characteristic) โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยตามคณะและหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามทั้ง 2 เขตพื้นที่ (เขตพื้นที่ในเมืองและพื้นที่ขามเรียง) รวมจำนวน 38 จุด



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงสัดส่วนของปริมาณองค์ประกอบขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ที่มา : (แบบสำรวจรายงานผลสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมหาวิทยาลัยมหาสารคามปี 2563)

เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละขององค์ประกอบขยะมูลฝอยแต่ละประเภทของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม พบว่า ขยะมูลฝอยประเภททั่วไปมีปริมาณมากที่สุดค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 72.62 เนื่องจากภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามมีร้านจำหน่ายอาหารจำนวนมากโดยเฉพาะจุดตลาดน้อย ซึ่งผู้ประกอบยังใช้ถุงพลาสติกเป็นส่วนใหญ่จึงก่อให้เกิดขยะประเภทนี้มากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาเป็นขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 17.41 9.52 และ 0.45 ตามลำดับ

2.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะ

พลังงานจากขยะ คือ พลังงานที่ได้จากขยะ ขยะชุมชน และขยะมูลฝอยจากการอุปโภค กระบวนการผลิต หรือการดำเนินการกิจกรรมต่างๆ ทั้งภายในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันพลังงานจากขยะถือเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงเนื่องจาก สามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพ และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงใน โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทดแทนพลังงานจากแหล่งฟอสซิลได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบัน เทคโนโลยีที่ใช้ ในการจัดการขยะเพื่อเปลี่ยนสภาพเป็นพลังงานทดแทนมีดังนี้

2.3.1 เทคโนโลยีเผาขยะในระบบเตาเผา (Incineration)

เป็นการเผาขยะเพื่อทำลายมวลและปริมาตรของขยะมูลฝอยด้วยความร้อนในเตาที่ออกแบบ มาสำหรับการเผาขยะโดยเฉพาะ ซึ่งจะต้องมีระบบควบคุมเป็นอย่างดีเพื่อป้องกันการปล่อยมลพิษ เช่น ก๊าซพิษ เขม่า กลิ่น ฯลฯ สู่ชั้นบรรยากาศที่อาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม โดยเตาเผาที่ใช้ใน ปัจจุบัน ได้แก่ เตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาแบบหมุน และเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด ส่วนพลังงาน ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถใช้ในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าได้ และขี้เถ้าซึ่งเหลือจากการ เผาไหม้ บางส่วนจะถูกนำไปฝังกลบหรือใช้เป็นวัสดุปูพื้นสำหรับการสร้างถนน การกำจัดขยะมูลฝอย โดยใช้เตาเผา เป็นกระบวนการเผาไหม้ขยะมูลฝอยที่ใช้อากาศมากกว่าความต้องการอากาศในการ เผาไหม้ทางทฤษฎี (Stoichiometric Condition) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ความร้อน (Heat) ซึ่งสามารถใช้งานกับหม้อต้มไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ และสามารถกำจัดปริมาณ ขยะมูลฝอยได้ ประมาณร้อยละ 80-90 โดยต้องมีการออกแบบเตาเผาให้เหมาะสมกับปริมาณและ องค์ประกอบของขยะมูลฝอยและปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ค่าความชื้น และค่าความร้อนของขยะ มูลฝอยซึ่งมีการผันแปรตามฤดูกาล และลักษณะองค์ประกอบของขยะมูลฝอย นอกจากนี้ ปัญหา มลภาวะเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญ โดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ การปนเปื้อนของ ขยะอันตรายจากครัวเรือนไม่เพียงแต่จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยสารพิษดังกล่าวออกสู่บรรยากาศ แต่ ยังคงมีสารพิษค้างในขี้เถ้าที่เหลือจากการไหม้ ซึ่งต้องนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบในขั้นตอนสุดท้าย

ระบบการเผาไหม้ชนิดเตาเผาขยะชุมชน (Incineration) จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบการเผาทำลายขยะมูลฝอยในสภาพที่รับเข้ามาโดยไม่ต้องมีกระบวนการจัดการเบื้องต้นก่อน หรือเรียกว่าระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burn System) และระบบการเผาทำลายขยะมูลฝอยที่มี การจัดการเบื้องต้น (Burning of Preheated and Homogenized Waste)

1) หลักการทำงานของเตาเผาขยะมูลฝอย

1.1) ระบบรองรับขยะมูลฝอยประกอบด้วย การลดขนาด การคัดแยก และการตรวจสอบขยะมูลฝอย โดยระบบนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย

1.2) หลุมรองรับขยะมูลฝอย (Unloading and Hopper for Waste) เพื่อให้มีการผสมขยะมูลฝอยให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวและลดความชื้นก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เตาเผา

1.3) ระบบป้อนขยะมูลฝอย (Feeding System) ขยะมูลฝอยที่ถูกผสมเข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาทางช่องป้อน

1.4) ระบบเตาเผาขยะมูลฝอย

1.5) ระบบนำเถ้าออก (Ash and Clinker Removal System) เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะถูกเก็บและขนส่งด้วยระบบลำเลียง ซึ่งสามารถร่อนคัดแยกและใช้ในการทำเป็นวัสดุรองพื้นในการก่อสร้างถนน หรือเพื่อการก่อสร้างเถ้าส่วนที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้จะถูกคัดออกและนำไปฝังกลบแบบถูกตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

1.6) ระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ (Air Pollution Control System) จะขึ้นอยู่กับระดับสารมลพิษที่เกิดจากการกำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งมีหลากหลายชนิดทั้งที่มีพิษเล็กน้อยจนถึงมีพิษหรืออันตรายสูงสุด และที่สำคัญได้แก่ กลิ่น ฝุ่นละออง คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ (กรณีเผาไหม้ไม่สมบูรณ์) ออกไซด์ของไนโตรเจน ออกไซด์ของซัลเฟอร์ ไฮโดรคาร์บอนไดออกซิน โลหะหนัก เถ้าหนัก เถ้าเบา และน้ำเสีย เป็นต้น การแบ่งกลุ่มเตาเผาตามเทคโนโลยีกำจัดสารมลพิษอาจแบ่งได้เป็นกลุ่มๆ ดังนี้

1.6.1) เตาเผาที่ไม่มีระบบกำจัดสารพิษ ได้แก่ เตาเผาขนาดเล็กขนาดต่ำกว่า 10 ตันต่อวัน

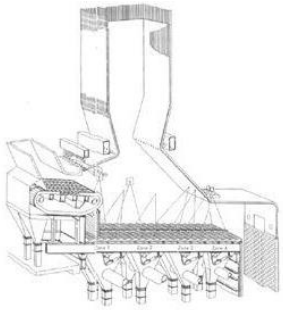
1.6.2) เตาที่มีกระบวนการกำจัดสารมลพิษบางประเภท/ชนิด ได้แก่ เตาเผาที่มี 2 ห้อง โดยใช้เตาเผา ห้องที่ 2 ในการกำจัดสารมลพิษ หรือมีระบบบำบัดฝุ่นละอองโดยใช้ไซโคลน Wet scrubber หรือ การกรอง เช่น Bag Filter เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นเตาเผาขนาดมากกว่า 10-20 ตันต่อวัน

1.6.3) เตาเผาที่มีระบบกำจัดสารมลพิษที่สำคัญหลายตัว หรือทุกตัวส่วนใหญ่เป็นเตาเผาขนาดมากกว่า 20 ตันต่อวัน อาจใช้เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) หรือเครื่องกรองแบบถุงกรอง (Baghouse Filter) สำหรับดักอนุภาคฝุ่น และโลหะหนักบางชนิด อาจมีการเพิ่มระบบทำความสะอาดก๊าซด้วยวิธีทางเคมี เช่นDry/Semi-dry Scrubberตามด้วยเครื่องกรองแบบถุงกรองหรือ Wet Scrubber และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมNOXหรือไดออกซิน ด้วยการใช้เครื่องกรองแบบถุงกรองชนิดพิเศษ

1.6.4) ปล่องระบายไอเสีย (Stack) ไอเสียที่ผ่านการบำบัดจะถูกระบายออกทางปล่องระบายไอเสียความสูงของปล่อง ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของที่ตั้งเตาเผาขยะมูลฝอย

2) ระบบเตาเผาขยะมูลฝอย

2.1) เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker-Fired or grate-Fired Incinerator) เป็นเตาเผาที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ขยะมูลฝอยจะถูกป้อนเข้าไปในเตาเผาแล้วเคลื่อนตัวไปตามการเคลื่อนที่ของแผงตะกรับโดยมีอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป่าเข้าทางด้านล่างของตะกรับ ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลขึ้นด้านบนแล้วไปแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้แล้วจะเคลื่อนตัวตามตะกรับแล้วตกออกมาจากเตาเผาเป็นขี้เถ้าซึ่งสามารถนำไปฝังกลบได้ วิธีการเผาใช้อากาศมากเกินพอ (Excess Air) และอาจใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเสริมในการเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิในเตาเผาประมาณ 850-1,200 องศาเซลเซียส เตาเผาประเภทนี้เป็นเตาเผาที่เหมาะสมกับขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากคือ 6 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป หรือ 150 ตันต่อวัน การนำเตาเผาชนิดมีแผงตะกรับมาใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยควรคำนึงถึงข้อดี และข้อจำกัดของเตาเผาชนิดนี้

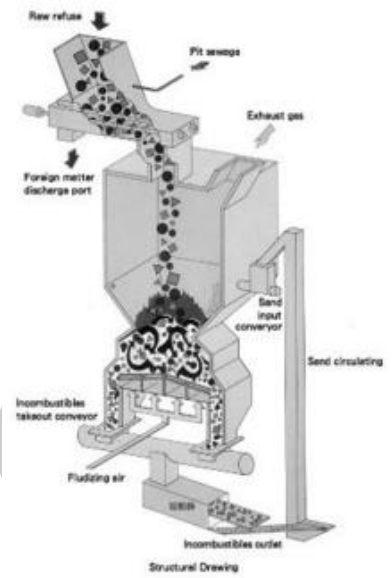


ภาพประกอบ 4 เตาเผาชนิดมีแผงตะกรับ (Stoker-Fired or grate-Fired Incinerator)
ที่มา : (https://webkc.dede.go.th : เว็บไซต์)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาเผาชนิดมีแผงตะกรับ (Stoker-Fired or grate-Fired Incinerator)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่ต้องการคัดแยก หรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน 2. เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้ว 3. สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี 4. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 85% 5. สามารถก่อสร้างให้มีความสามารถในการเผาทำลายได้ถึง 1,200 ตันต่อวัน หรือ 50 ตันต่อชั่วโมง	1. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

2.2) เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Incinerator) เป็นการเพิ่มความเร็วให้กับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้สูงพอที่จะทำให้ตัวขยะเกิดการลอยตัวบนวัสดุตัวกลางมีสภาพเหมือนของไหล การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในขณะที่ขยะมีสภาพเป็นของไหลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลได้ ในทางปฏิบัติจะมีการใส่ตัวกลางที่ใช้ในเตาเผาเป็นแร่ควอทซ์หรือทรายแม่น้ำขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร ขยะมูลฝอยจะต้องถูกย่อยให้มีขนาดเล็ก ตัวกลางและขยะมูลฝอยจะถูกกวนผสมกันในเตาและเผาไหม้โดยใช้อากาศมากเกินพอ (excess air) ใช้อุณหภูมิประมาณ 850-1,200 องศาเซลเซียส เตาเผาประเภทนี้เหมาะกับปริมาณขยะมูลฝอยขนาด 1-5 ตันต่อชั่วโมง หรือ 25-100 ตันต่อวัน ทั้งนี้เตาเผาชนิดใช้ตัวกลางนำความร้อนมีข้อดีและข้อจำกัด

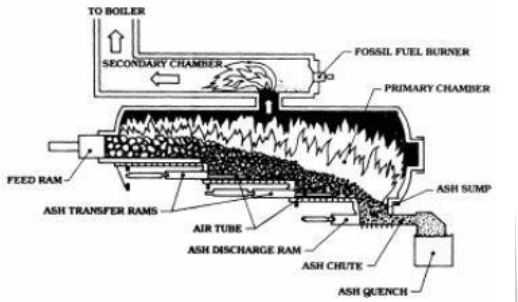


ภาพประกอบ 5 เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Incinerator)
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Incinerator)

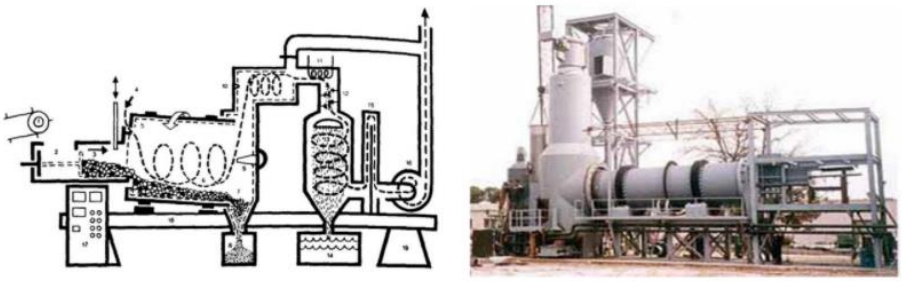
ข้อดี	ข้อเสีย
1. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำเนื่องจากการออกแบบที่ค่อนข้างง่าย 2. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 90% 3. สามารถใช้ในการเผาทำลายเชื้อเพลิงที่หลายประเภทและสามารถรองรับได้ทั้งกากของแข็งและเหลวโดยเผาทำลายร่วมกันหรือแยกจากกัน	1. ในปัจจุบันยังจัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังต้องการทดสอบอยู่สำหรับเผาทำลายขยะมูลฝอยชุมชน 2. ค่อนข้างมีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบของขยะ โดยทั่วไปต้องมีกระบวนการในการจัดการขยะก่อนส่งเข้าเตาเผา

2.3) เตาเผาชนิดควบคุมการเผาไหม้ (Controlled-Air Incinerator) เป็นเตาเผาที่แบ่งการเผาไหม้เป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นแรกซึ่งเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้แรก (primary combustion chamber) จะควบคุมการเผาไหม้ขยะมูลฝอยในสภาวะไร้อากาศหรือใช้อากาศค่อนข้างน้อย (Starved air) ที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์แต่จะเป็นก๊าซเชื้อเพลิงและไหลเข้าไปเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่สอง (secondary combustion chamber) ในสภาวะอากาศมากเกินพอ (excess air) และอาจใช้น้ำมันเชื้อเพลิงด้วย อุณหภูมิในเตาเผาประมาณ 1,000-1,200 องศาเซลเซียส เตาเผาประเภทนี้ใช้กับขยะมูลฝอยที่มีปริมาณน้อย คือ ไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมงหรือ 10 ตันต่อวัน ทั้งนี้เตาเผาชนิดควบคุมการเผาไหม้มีข้อดีและข้อด้อยซึ่งควรนำมาพิจารณาประกอบการเลือกใช้งาน



ภาพประกอบ 6 เตาเผาชนิดควบคุมการเผาไหม้ (Controlled-Air Incinerator)
ที่มา : (https://webkc.dede.go.th : เว็บไซต์)

2.4) เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) เป็นระบบเตาเผาแบบหมุน เป็นการเผาไหม้มวลของขยะมูลฝอยโดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน โดยขยะจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผา ซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับเตาเผาแบบหมุนส่วนใหญ่จะเป็นแบบผนังอิฐทนไฟแต่ก็มีบ้างที่เป็นแบบผนังผนังน้ำทรงกระบอก อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และยาวตั้งแต่ 8 ถึง 20 เมตร ความสามารถในการเผาทำลาย ขยะมูลฝอยมีตั้งแต่ 2.4 ตันต่อวัน (0.1 ตันต่อชั่วโมง) จนถึงประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง) อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้จะมีปริมาณที่มากกว่าแบบที่ใช้กับเตาเผาแบบตะกรับ และอาจจะมากกว่าที่ใช้กับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด สิ่งที่ตามมาก็คือเตาเผาแบบหมุนจะมีประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากว่าเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (Retention Time) ของก๊าซไอเสียค่อนข้างสั้นเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเตาทรงกระบอกจึงมักมีส่วนต่อที่ทำห้องเผาไหม้หลัง (After-Burning Chamber) และมักรวมอยู่ในส่วนของหม้อน้ำด้วย



ภาพประกอบ 7 เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

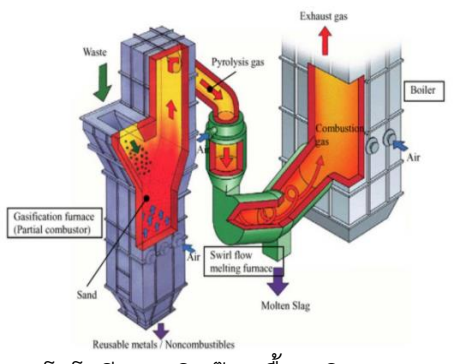
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน 2. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 80% 3. สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี	1. เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้ในการเผาทำลายขยะมูลฝอยค่อนข้างน้อย 2. เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง 3. ความสามารถในการเผาทำลายสูงสุดต่อหนึ่งเตาประมาณ 480 ตันต่อวัน หรือ 20 ตันต่อชั่วโมง

2.3.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasificition)

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชนหรือเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าสซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification) เป็นกระบวนการทำให้ขยะมูลฝอยเป็นก๊าซโดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ กล่าวคือสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน เรียกว่า Produce Gas ซึ่งในกรณีที่ใช้อากาศเป็นก๊าซทำปฏิกิริยาก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนต่ำประมาณ 3-5 MJ/Nm³ เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier สามารถแบ่งออกเป็น Downdraft, Updraft, Cross-Current และ Fluid Bed Gasifier ดังนี้

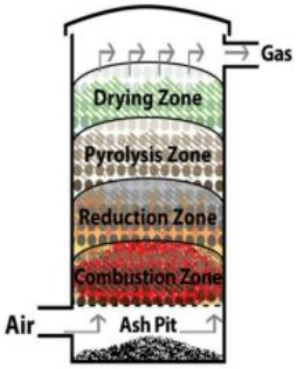


ภาพประกอบ 8 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasificition)

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

1) Updraft Gasifier เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเครื่องและอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้น ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า Combustion Zone เมื่ออากาศผ่านเข้าไปบริเวณดังกล่าว จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำก๊าซร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะมีอุณหภูมิสูงและจะถูกส่งผ่านไปยัง Reduction zone ซึ่งเป็นโซนที่มีปริมาณคาร์บอนมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของเชื้อเพลิงที่ชื้น เนื่องจากก๊าซยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงเหล่านั้น ทำให้ก๊าซที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ที่มีอุณหภูมิต่ำลงสารระเหยและน้ำมันทาร์ที่เกิดขึ้นในช่วงการกลั่นสลายจะติดออกไปกับก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier จะมีปริมาณของน้ำมันทาร์มาก บางครั้งอาจมีมากถึง 20% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวล ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier มีอุณหภูมิไม่สูงนักและมีปริมาณสารไฮดดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์มากทำให้มีค่าความร้อนมาก จำเป็นต้องมีหน่วยทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงก่อนนำเชื้อเพลิงไปหมุนกังหันก๊าซ ข้อดีหลักของเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier คือ ติดตั้งง่ายและมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง

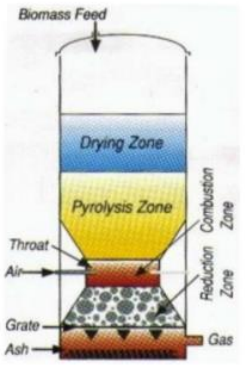


ภาพประกอบ 9 Updraft Gasifier

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

2) Downdraft Gasifier เครื่องปฏิกรณ์ Gassifier แบบนี้ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันทาร์ในก๊าซเชื้อเพลิงโดยเฉพาะอากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างผ่านกลุ่มของหัวฉีดซึ่งเรียกว่า Tuyers บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณของโซน Combustion ก๊าซที่ได้จากโซนดังกล่าว จะถูก Reduced ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างและผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนซึ่งอยู่เหนือตะแกรงเล็กน้อย ขณะเดียวกันในชั้นของเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนของโซน Combustion จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก

ทำให้เกิดการกลั่นสลาย และน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน และน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านั้นของคาร์บอนที่ร้อน ทำให้น้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวเป็นก๊าซ ซึ่งการแตกตัวนี้จะเกิดที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง 800 – 1,000 °C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C ปฏิกิริยาดูดความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิต่ำลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ปฏิกิริยาคายความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซที่ผ่านโซน Combustion จะมีส่วนประกอบของน้ำมันทาร์ลดลงเหลือน้อยกว่า 10% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จาก Updraft Gasifier และก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะสะอาดกว่า การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยปฏิกรณ์แบบ Downdraft Gasifier นี้ง่ายและมีความน่าเชื้อถือสำหรับเชื้อเพลิงที่แห้ง (มีความชื้นต่ำกว่า 30%) เนื่องจากว่าก๊าซเชื้อเพลิงที่มีปริมาณน้ำมันทาร์ต่ำ เครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft Gasifier จึงเหมาะกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 500 kg/hr หรือ 500 kWe



ภาพประกอบ 10 Downdraft Gasifier

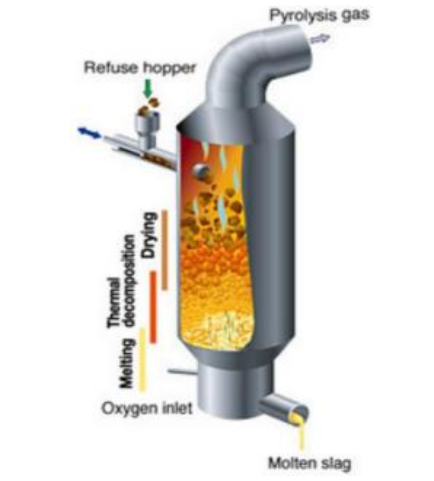
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

3) Fluid Bed Gasifier การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จะเกิด Slag มากเกินไป จึงก่อให้เกิดการอุดตันในเครื่องปฏิกรณ์บ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier ขึ้น เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านให้สูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยขึ้นมีลักษณะคล้ายกับของไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์จะใส่วัสดุเฉื่อย (Inert Material) ซึ่งอาจเป็นทราย อลูมิน่าหรือออกไซด์ของโลหะที่ทนความร้อนสูงและไม่เกิดการหลอมรวมตัวกัน โดยมีแผ่นที่เจาะรูมารองรับตัวกลางเหล่านี้ที่ตอนล่างของเครื่องปฏิกรณ์ แผ่นที่เจาะรูนี้จะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวแบบฟลูอิดไดเซชันอย่างทั่วถึงของเบดโดยการผ่านอากาศหรือออกซิเจนเข้าสู่ตอนล่างของแผ่นรองรับ ซึ่งความเร็วของอากาศหรือออกซิเจนที่ผ่านเข้าไปต้องมีค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวกลางมีสภาพแขวนลอย (Suspension) โดยปกติเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงภายในเบด ปฏิกิริยา Gasification อาจเกิดขึ้นที่ส่วนที่เป็นที่ว่างเหนือเบด หรือที่เรียกว่าบริเวณ Freeboard โดยเป็นปฏิกิริยาของ

อนุภาคเชื้อเพลิงเล็กๆ ที่ปลิวหลุดออกมาจากเบดหรือเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำมันทาร์ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier จะมีปริมาณน้ำมันทาร์ อยู่ระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier และ Downdraft Gasifier

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier คือการสูญเสียสภาพฟลูอิดไดเซชันเนื่องจาก โลหะอัลคาไลน์จากเถ้าขอเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น (เช่น โซเดียมคาร์บอเนต หรือโปตัสเซียมคาร์บอเนต) จะรวมตัวซิลิกาในทรายซึ่งนิยมใช้เป็นตัวกลางในเบด เกิดเป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้ตัวกลางหลอมรวมกัน สูญเสียภาพฟลูอิดไดเซชันไป อย่างไรก็ตามการสูญเสียคาร์บอนที่ติดไปกับเถ้าอาจมาก ทำให้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier ไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้งานขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงไปด้วย

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier มีข้อดีคือ การผสมที่ปั่นป่วนมาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าสูง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและสามารถควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ได้ค่อนข้างง่าย ข้อเสียของเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้คือ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นถ่านชาร์ออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าสูงจึงต้องนำ Cyclone มาใช้กับระบบด้วย



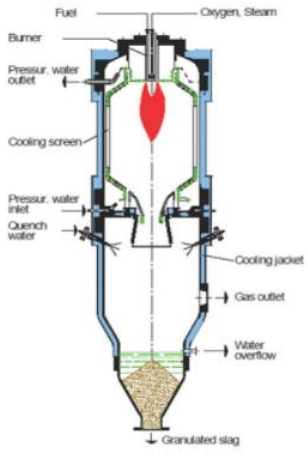
ภาพประกอบ 11 Fluid Bed Gasifier

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

4) Circulating Fluid Bed Gasifier เครื่องปฏิกรณ์แบบ Circulating Fluid Bed Gasifier พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Carbon Conversion โดยอนุภาคเชื้อเพลิงจะถูกรีไซเคิลกลับมายังเบด โดยความเร็วในการฟลูอิดไดซ์จะต้องสูงพอที่จะทำให้อนุภาคลอยในปริมาณมาก

5) Entrained Bed Gasifier ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained Bed Gasifier จะไม่มีวัสดุ Inert แต่เชื้อพลิงที่ใช้จะต้องลดขนาดให้เล็กมาก โดยปกติเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้จะเดินเครื่องที่

อุณหภูมิสูงประมาณ 1,200 – 1,500 °C ซึ่งขึ้นกับว่าจะใช้อากาศหรือออกซิเจน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณน้ำมันทาร์และสารที่อุณหภูมิสูง จึงมีปัญหาเรื่องการเลือกใช้วัสดุและปัญหาเรื่องการหลอมตัวของเถ้า ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained Bed Gasifier จะให้ค่า Carbon Conversion สูงถึง 100% อีกทั้งมีการใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชนน้อย



ภาพประกอบ 12 Entrained Bed Gasifier

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

6) Comparison of Pressurized and Atmospheric Operation เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบอัดความดัน มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

- ระบบป้อนเชื้อเพลิงยุ่งยากและแพง นอกจากนี้ยังต้องการก๊าซเฉื่อยปริมาณมากในการ purging

- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก (Capital Cost) จะสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ที่ความดันบรรยากาศ โดยระบบ Pressurized Gasification จะแพงกว่าระบบ Atmospheric Gasification ถึง 4 เท่า สำหรับเครื่องที่มีกำลังต่ำกว่า 20Mwe แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าและพบว่าสำหรับเครื่องที่มีกำลังสูงกว่า 50Mwe ระบบ Pressurized Gasification จะคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าระบบ Atmospheric Gasification

- ก๊าซเชื้อเพลิงจะถูกป้อนไปยังกังหันก๊าซที่ภาวะอัดความดันจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มความดันให้กับก๊าซเชื้อเพลิงเหมือนกรณีของระบบ Atmospheric Gasification

- ประสิทธิภาพรวมของระบบอาจจะสูงกว่า Atmospheric Gasification

- ระบบทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงโดยปกติจะใช้ระบบ Mechanical Filters ซึ่งสามารถลดการสูญเสียพลังงานทางความร้อนและความดันได้ นอกจากนี้เป็นหลักการที่ง่ายและถูกกว่าระบบ Scrubbing เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ที่ความดันบรรยากาศ มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

- สำหรับการใช้งานในกังหันก๊าซจำเป็นต้องทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงและอัดความดันก่อนเข้ากังหัน สำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ไม่จำเป็นต้องอัดความดัน

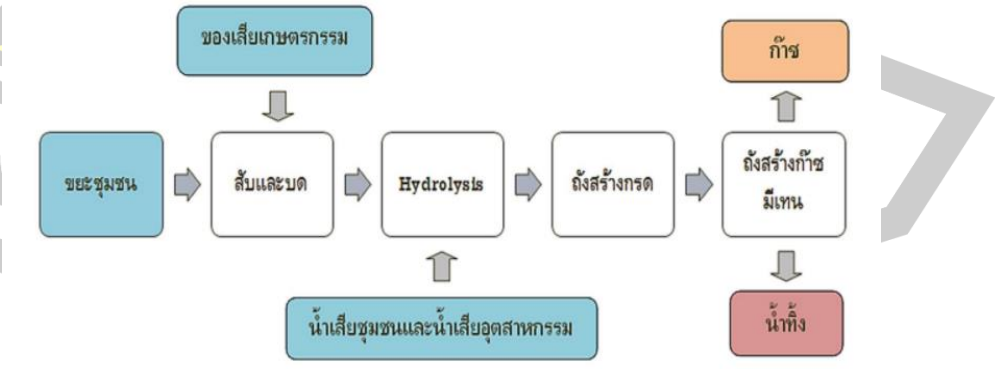
- ระบบ Atmospheric Gasification มีศักยภาพในกรณีที่ใช้งานที่กำลังต่ำกว่า 30Mwe เนื่องจาก Capacital Cost ต่ำกว่าระบบ Pressurized Gasification มาก

การเลือกชนิดเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิต ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ และออกซิแดนท์ที่ใช้ในทางทฤษฎีจะคิดว่าน้ำมันทาร์ สารไฮโดรคาร์บอนและถ่านชาร์จจะเปลี่ยนเป็นก๊าซเชื้อเพลิงทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามชนิดและรูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ได้ ซึ่งระดับของการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับรูปร่างลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ด้วย ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ที่เหมาะสมแสดงดังต่อไปนี้

- Updraft : 20kW-1MW
- Downdraft : 1-15MW
- Bubbling fluidized bed : 2-50MW
- Circulating fluid bed (CFB) : 10-120MW
- Pressurized fluidized (PFB) : 80-50MW

2.3.3 เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชนเป็นเรื่องใหม่ แม้ในประเทศพัฒนาแล้วก็เป็นเรื่องที่ทำกันมาไม่นานนัก สำหรับประเทศไทยการคัดแยกขยะชุมชนเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเพื่อแยกวัสดุที่ขายได้ เช่น ขวดพลาสติก แก้ว ฯลฯ ทำให้ขยะที่ส่งไปเก็บที่กองขยะต่างๆ มีสัดส่วนของสารอินทรีย์อยู่มากจนสามารถเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศได้



ภาพประกอบ 13 แสดงขั้นตอนการสร้างก๊าซชีวภาพจากแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนต่างๆ

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

แม้ว่าการย่อยสลายขยะชุมชนแบบไม่ใช้อากาศ จะมีหลายขยะชุมชนแบบไม่ใช้อากาศ จะมีหลักการเดียวกับการบำบัดน้ำเสียต่างๆ แต่ขั้นตอนการทำงานของการย่อยสลายขยะชุมชนมีมากกว่า เนื่องจากน้ำเสียและของเสียต่างๆ มีลักษณะแตกต่างกัน โดยที่ขยะชุมชนจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสภพที่เป็นของแข็งขนาดใหญ่และอยู่ภายใต้สภาวะที่เรียกว่า “แห้งกว่า” น้ำเสียต่างๆ มาก การย่อยสลายขยะจึงมีขั้นตอนการบดขยะและขั้นตอนการลดขนาดของของแข็งอินทรีย์ จากนั้นจึงเป็นกลไกปกติของการย่อยสลายภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะของ Feed ของระบบบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์แบบต่างๆ

ระบบบำบัดน้ำเสีย	น้ำเสียหรือของเสีย	ลักษณะของน้ำเสียหรือของเสีย
1. ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม	น้ำเสียอุตสาหกรรม	เป็นของเหลวมี TS ต่ำ
2. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	น้ำเสียชุมชน	เป็นของเหลวมี TS ต่ำ
3. ระบบบำบัดสลัดจ์อินทรีย์ (จากระบบบำบัดน้ำเสีย)	สลัดจ์ส่วนเกินของระบบเอเอสหรือระบบอื่นๆ	ของเหลวมี Ts ประมาณ 1-2% (ไหลได้)
4. ระบบบำบัดน้ำเสียเกษตรกรรม (มูลสัตว์)	มูลสัตว์	น้ำตะกอนเข้มข้น มี TS ประมาณ 2-4% (ไหลได้)
5. ระบบบำบัดขยะมูลฝอย	ขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้	สลัดจ์ (คล้ายโคลน) มี TS ประมาณ 10-30% (ไม่ไหล)

ขั้นตอนการทำงานของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยในชุมชน ประกอบด้วย

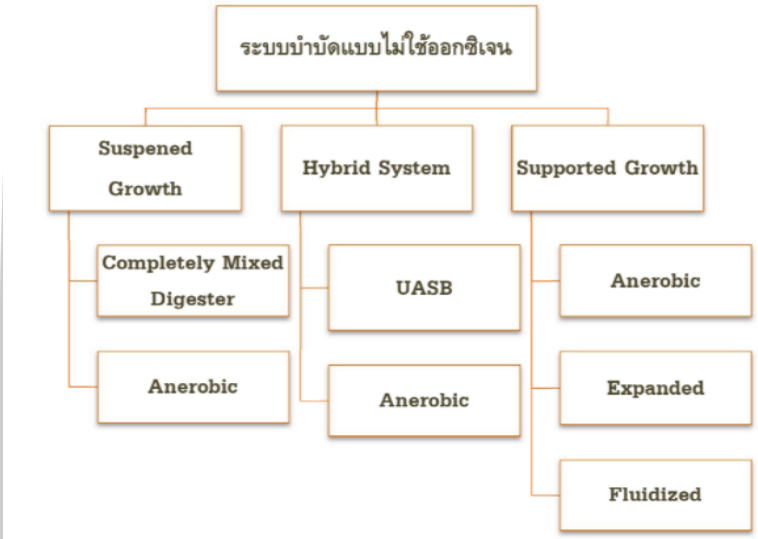
1) การบำบัดขยะมูลฝอยขั้นต้น (Front-end Treatment) ได้แก่ การคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยรวม การคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์และการปรับปรุงสภาพ (Upgrading) ของขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการป้อนเข้าสู่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน รวมทั้งเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นระบบบำบัดต่อเนื่อง

2) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เป็นขั้นตอนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ การกำจัดกลิ่นและทำให้ขยะมูลฝอยคงสภาพรวมทั้งเพื่อให้ได้กากตะกอนจากการย่อยสลายปราศจากเชื้อโรค

3) การบำบัดขั้นหลัง (Back-end Treatment) ได้แก่ การทำให้การย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์สมบูรณ์มากขึ้นโดยใช้ระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ หรือการฆ่าเชื้อโรค และการกำจัดสิ่งปะปนออกจากสารรับสภาพดิน หรือเป็นการทำให้ความชื้นของสารปรับสภาพดินที่ได้อยู่ระดับเหมาะสมหรืออยู่ในสภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช

รูปแบบของถังบำบัดกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศอาจใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นรูปแบบของถังหมัก แต่ไม่ว่าวัตถุประสงค์จะเป็นเช่นใดก็ตาม กระบวนการไม่ใช้อากาศก็มักมีลักษณะสำคัญร่วมกัน คือ สามารถสร้างก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ กระบวนการบำบัดสลัดจ์มักเป็นถังรูปแบบเดียวคือถังย่อยสลัดจ์ (Sludge Digestion Tank) ส่วนรูปแบบอื่นๆ มักใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมาจากถังหมักธรรมดาจนถึงแบบอัตราสูง รูปของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจจำแนกเป็น 3 ประเภทหลัก



ภาพประกอบ 14 แผนผังแสดงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรูปแบบต่างๆ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

1) ระบบแบบเลี้ยงเชื้อแขวนลอย (Suspended Growth) ระบบนี้อาศัยการกวนให้แบคทีเรียผสมกับน้ำเสียภายในถังปฏิกิริยา และจำเป็นต้องมีถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดและเชื้อแบคทีเรียให้ออกจากกัน โดยหมุนเวียนเชื้อกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยาอีกครั้ง ตัวอย่างของถังหมักแบบเชื้อแขวนลอย 2 ชนิด คือ Completely Mixed Digestor และ Anaerobic Contact (Anaerobic Activated Sludge)

2) ระบบเลี้ยงเชื้อเกาะติด (Supported Growth) เนื่องจากแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักไม่สามารถตกตะกอนได้ดี และอาจหลุดไปกับน้ำทิ้งของถังหมักทำให้มีผู้คิดค้นที่จะทำให้แบคทีเรียเกาะติดกับตัวกลางและเสมือนว่าตัวกลางนั้นถูกใช้เป็นตัวกรองให้แบคทีเรียไม่หลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้ค่าใช้จ่ายของการสร้างถังตกตะกอนมาอยู่ที่ราคาของตัวกลางที่ให้แบคทีเรีย

เกาะติด ระบบนี้มีตัวอย่างของถังปฏิกิริยา 3 ชนิดคือ ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Filter, Expanded Bed และ Fluidized Bed)

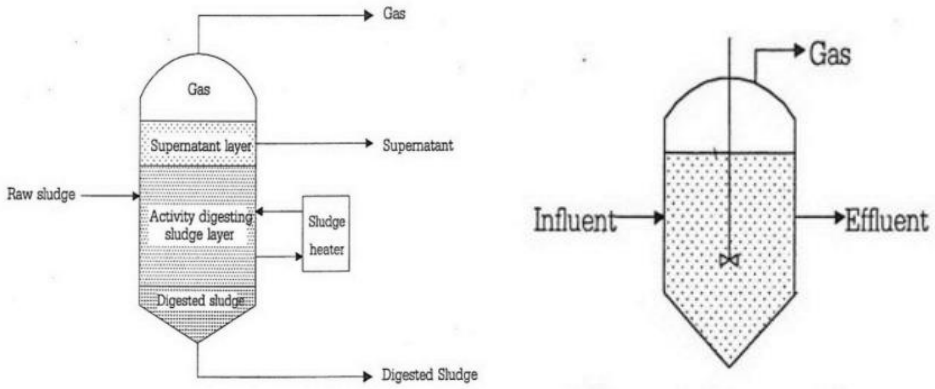
3) ระบบแบบผสม (Hybrid System) ระบบนี้ไม่ได้เป็นทั้งแบบเลี้ยงแขวนลอยหรือเลี้ยงเชื้อเกาะติดอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ดูเหมือนว่าจะเป็นทั้งสองอย่างปนกัน จึงจัดว่าเป็นแบบลูกผสม สำหรับระบบผสมมีตัวอย่างของถังปฏิกิริยา 2 ชนิดคือ บ่อหมักไม่ใช้อากาศ และระบบ UASB

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่างๆ

ข้อพิจารณา	เลี้ยงเชื้อแบบแขวนลอย (Suspended Growth)	ระบบแบบผสม (Hybrid System)	ระบบเลี้ยงเชื้อเกาะติด (Supported Growth)
- ความเข้มข้นของมวลแบคทีเรีย	ต่ำ	สูง	สูง
- อายุตะกอน (SRT)	ต่ำ	สูง	สูง
- การใช้บำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคของแข็ง	เหมาะสม	กำจัดอนุภาคของแข็งได้บ้าง	กำจัดอนุภาคของแข็งได้บ้าง
- การใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง	ใช้ได้	ใช้ได้	ใช้ได้
- การใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ	พอใช้ได้	เหมาะสม	เหมาะสม
- ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	จำกัด	สูง	สูง
- ความทนต่อสารพิษและการเปลี่ยนแปลงภาวะการทำงาน	มีข้อจำกัดเนื่องจากอายุตะกอนต่ำ	มีอายุตะกอนสูงจึงมีเสถียรภาพดี	มีอายุตะกอนสูงจึงมีสเถียรภาพดี
- สภาพทางชลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์	ใช้เครื่องกวน	ใช้การหมุนเวียนน้ำออกเข้ามาผสมในถังปฏิกรณ์หรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า	ใช้การหมุนเวียนน้ำออกเข้ามาผสมในถังปฏิกรณ์หรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า
- การใช้พลังงาน	สูง	ต่ำ มีการหมุนเวียนน้ำ	ต่ำ (ยกเว้นแบบ Fluidized)

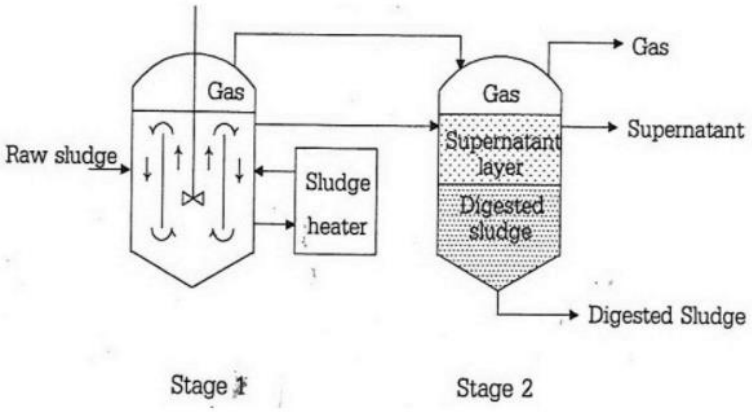
กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นอยู่กับรูปแบบของถังหมัก ซึ่งมักมีบำบัดกระบนการไม่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ สำหรับเทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่

1) ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์) แบ่งเป็น ระบบถังย่อยที่ไม่มีการกวนตะกวนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราต่ำ (Low Rate Digester) และระบบถังย่อยที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิเพื่อเร่งปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราสูง (High Rate Digester) สำหรับถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีถัง 2 ชุด โดยมีระบบการแยกตะกอนสลัดจ์ออกจากถังย่อยสลัดจ์ชุดที่ 2 ซึ่งทำให้สามารถได้สลัดจ์ย่อยแล้วที่มีความเข้มข้นสูงและปล่อยน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ (สกปรกน้อย)



ภาพประกอบ 15 รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราต่ำและแบบสูง

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

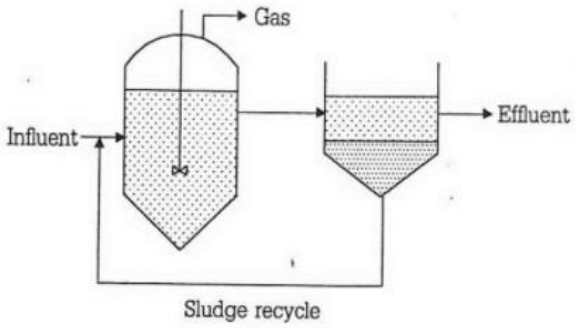


ภาพประกอบ 16 รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

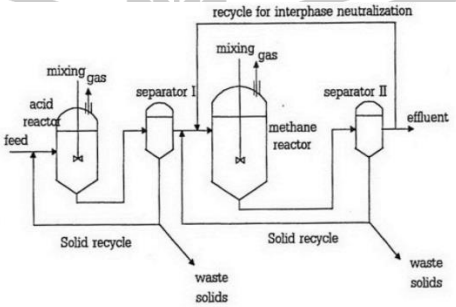
2) ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact) ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบมีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังย่อยแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อย

แบบนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge) อย่างไรก็ตามระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดหนีของสลัดจ์เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสมีจำนวนน้อยมากเนื่องจากไม่เป็นที่นิยม ระบบที่ยังคงใช้ได้จะมีความสามารถในการรับภาระซีโอดีได้ต่ำ



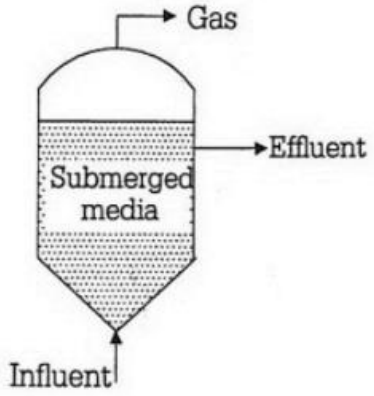
ภาพประกอบ 17 รูปแสดงถังย่อยแบบสัมผัส
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

3) ถังย่อยแบบแยกเชื้อ การออกแบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยคนละใบ ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้เต็มกำลังและเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกิริยาให้ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าทำให้การควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งจากรูปถังย่อยแบบแยกเชื้อแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังย่อยแบบแยกเชื้อที่ใช้พีเอสเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังย่อย ถังใบแรกซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 ซึ่งจะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังที่สองซึ่งมีพีเอชประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถังเพื่อมิให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด



ภาพประกอบ 18 รูปแสดงถังย่อยแบบแยกเชื้อ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

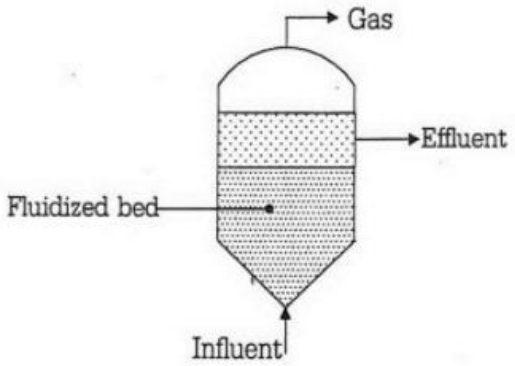
4) เครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ (AF หรือ Anaerobic Filter) ลักษณธทั่วไปของระบบตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศจะเป็นถังสูงคล้ายถังกรองที่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้ว หรือใช้พลาสติกเป็นตัวกลางแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหบออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปรกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะใช้เวลากักน้ำต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไขคือ ต้องจัดวิธีการกระจายน้ำเสียเข้าถังให้ได้อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกันแต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาลงได้โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสียส่งเข้าถังกรองไม่ใช้อากาศ ถังไม่ใช้อากาศแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวไปแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ



ภาพประกอบ 19 รูปแสดงตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

5) ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB หรือ Anaerobic Fluidized Bed) ระบบแบบนี้คล้างคลึงกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ ตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนจัดเป็นระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) แบบไม่ใช้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายจับเกาะของแบคทีเรีย อัตราไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการได้แก่ ทราย, แอนทราไซต์, ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมหาศาลอยู่ในระบบอัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถังปฏิกิริยาที่ใช้ระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบ

และควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้รับความนิยม



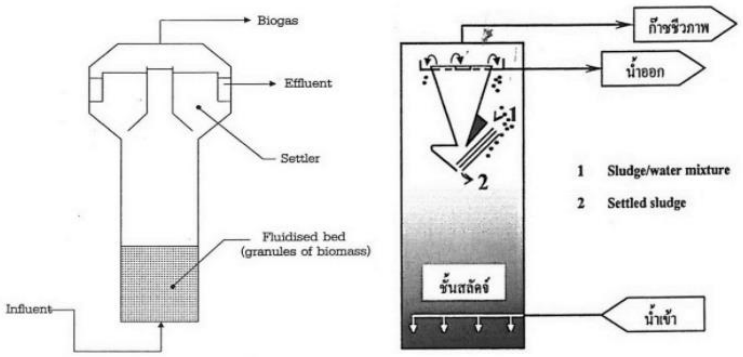
ภาพประกอบ 20 รูปแสดงชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

6) ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ UPFLOW Anaerobic Sludge Blanket) สารตัวกลางอยู่ในระบบเครื่องกรองอากาศไม่ใช้อากาศและระบบ AFB ทำให้ถังปฏิกิริยาต้องเสียปริมาตรใช้งานและเสียเงินซื่อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก วิศวกรจึงคิดค้นระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) จำเป็นต้องใช้สารตัวกลาง ระบบใหม่นี้มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบน แต่แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกิริยาจะทำให้เม็ดตะกอนแบคทีเรียมิให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยเสมอ

จุดอ่อนของระบบนี้คือการสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องยากและอาจถือว่าเป็นเรื่องไม่ธรรมดา เนื่องจากธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศไม่มีนิสัยเกาะจับเป็นกลุ่มฟล้อค วิศวกรที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จอ้างว่า ระบบนี้สามารถรับภาระซีโอดีได้สูงกว่าระบบไม่ใช้อากาศอื่นๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น

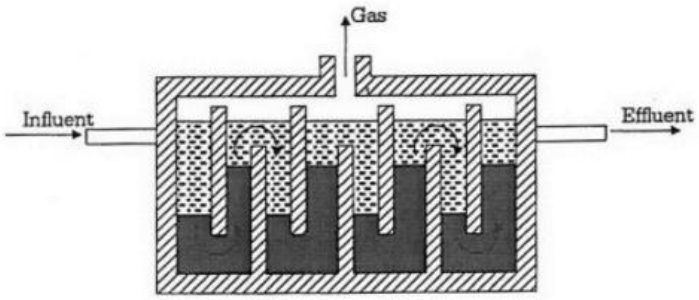
7) EGSB หรือ Expanded Granular Sludge Bed เป็น EGSB เป็นระบบ UASB แบบพิเศษ น้ำเสียไหลเข้าถังหมักทางด้านล่างโดยผ่านระบบท่อกระจายน้ำแบบพิเศษ ภายในถังหมักจะมีชั้นนอนของสลัดจ์ที่เป็นเม็ดแบคทีเรียขนาดประมาณเม็ดทราย เม็ดสลัดจ์มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้ดี (ความเร็วในการตกตะกอนประมาณ 60-80 ม./ชม. การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นสลัดจ์นอน (Sludge Bed) ความสูงของชั้นสลัดจ์นอนขึ้นอยู่กับความสูงถังหมัก ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 7-14 เมตร เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นมาถึงตอนบนซึ่งเป็น GSS หรือระบบแยกก๊าซ-ของแข็งแขวนลอย-น้ำ ก๊าซชีวภาพของแข็งแขวนลอย (SS) จะแยกออกจากน้ำเสียที่

บำบัดแล้ว ก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ SS จะตกตะกอนกลับลงไปยังตอนล่างของถังหมัก น้ำเสียบำบัดแล้วไหลออกจากถังหมัก ระบบ GSS ของถังหมักแบบ EGSB เป็นระบบที่ออกแบบพิเศษให้สามารถทำงานได้ดีกว่าระบบ GSS ของถัง UASB ทั่วไป กล่าวคือให้สามารถรับอัตราไหลได้สูงกว่า (อัตราน้ำล้นผิวของระบบ GG ชุดพิเศษนี้มีค่าประมาณ 1 ม./ชม.)



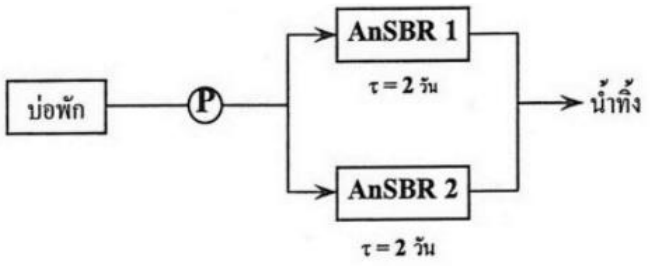
ภาพประกอบ 21 รูประบบยูเอเอสบีและรูปภาพตัดขวางของถังหมักแบบ EGSB
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

8) ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ (ABR หรือ Anaerobic Baffled Reactor) ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศคือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นลงอยู่ในแนวตั้ง ถังปฏิกรณ์จึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไม่ใช้อากาศอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ข้อดีของระบบนี้คือเป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำจึงสามารถทำให้ดีโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ใดๆ และก๊าซก็สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ง่ายเช่นกัน ทำให้การเก็บกักเซลล์เกิดได้ดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ระบบได้มาก การบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง



ภาพประกอบ 22 รูประบบ Anaerobic Baffled Reactor
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

9) AnSBR หรือ Anaerobic Sequencing Batch Reactor ระบบ AnSBR ที่ใช้มีลักษณะเดียวกับระบบยูเอเอสบีหรือถังหมักไม่ใช้อากาศที่เปิดฝา ไม่มีการกวนน้ำและมีการเติมน้ำเสียเป็นแบบเท (Batch) การย่อยสลายตัวของซีโอดีทำให้มีก๊าซเกิดขึ้นจนทำให้สลัดจ์ฟุ้งทั้งถังคล้ายกับมีการกวนน้ำด้วยใบพัดกวน เมื่อซีโอดีลดลงปริมาณก๊าซก็ลดลง (จะเห็นได้จากการลดลงของการฟุ้งของชั้นสลัดจ์) ทำให้มีการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ทำให้สามารถแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนออกทิ้งได้ การออกแบบให้รอบการทำงานของแต่ละถังเป็นเวลา 1 วัน (ครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งชั้นสลัดจ์ในถังหมักก็ไม่มีการฟุ้งแล้ว) ตัวอย่างเช่น ให้ถัง AnSBR มีเวลากักน้ำ 2 วัน (เท่ากับปริมาตร 50% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดในหนึ่งวัน) และใช้เชื้อแบคทีเรียประมาณ 25% ของความจุถัง แม้ว่าระบบนี้ต้องการเวลากักน้ำ 2 วัน ทำให้ Organic Loading เท่ากับประมาณ 5-6 กก./ลบ.ม.-วัน แต่ก็เป็น Loading ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำย่อยที่ย่อยยาก ดังเช่นในกรณีของน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอ



ภาพประกอบ 23 รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

10) บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ หรือCover logoon เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดที่ง่ายที่สุด โดยมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลายๆ วัน ภายในระยะเวลาดังกล่าวน้ำเสียจะถูกย่อยด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากบ่อหมักไม่ใช้อากาศมีขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง นอกจากนั้นยังอาจจะมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศจึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชานเมืองที่ซึ่งมีราคาที่ไม่สูงนัก และมีผู้อาศัยอยู่ไม่หนาแน่น

วิศวกรมักออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศด้วยค่า Organic Loading ไม่เกิน 0.5 กก./ซี/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้เพื่อมิให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตามไม่ว่าบ่อหมักจะออกแบบได้ดีเพียงใดก็มีโอกาสจะเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจได้เสมอ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามในการปิดบ่อไม่ใช้อากาศเพื่อป้องกันเรื่องกลิ่นเหม็นและเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ความก้าวหน้าในทางวัสดุศาสตร์โดยเฉพาะเรื่องเทคโนโลยีพลาสติกและเรซิน ทำให้สามารถใช้แผ่นพลาสติกที่สามารถเป็นฝาปกคลุมบ่อไม่ใช้อากาศได้ในราคาพอสมควร ข้อดีที่ตามมาจากการปิดบ่อหมักอีกประการหนึ่งคือ ทำให้สามารถสร้างในพื้นที่ใกล้ชุมชนได้ในราคาพอสมควร ข้อดีที่ตามมาจากการปิดบ่อหมักอีกประการ

หนึ่งคือ ทำให้สามารถสร้างในพื้นที่ใกล้ชุมชนได้มากกว่าในอดีตและทำให้สามารถออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝา ด้วยค่า Organic Loading ที่สูงกว่า 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีผลทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง ค่าก่อสร้างที่ลดลงเนื่องจากลดขนาดบ่อมีส่วนทำให้สามารถชดเชยค่าปิดฝาบ่อได้บ้าง

ภาพประกอบ 24 รูปแสดงบ่อหมักไม่ใช้อากาศปิดฝาที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

การบำบัดขั้นหลังระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Back-end Treatment) การบำบัดขั้นหลังจะเกิดขึ้นหลังจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเสร็จสิ้นแล้ว ในกรณีที่ระบบเป็นแบบ Wet Anaerobic Digestion Process ตะกอนเหลวที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว (Digestate) จะถูกส่งไปยังระบบฆ่าเชื้อโรค (Hygienization Process) จากนั้นก็สามารถนำไปใช้โดยตรงในพื้นที่เพาะปลูกในรูปของปุ๋ยน้ำ (Liquid Fertilizer) หรือจะนำมาแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องรีดน้ำจากกากตะกอน (Mechanical Dryer) เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งและน้ำออกจากกัน แล้วจะนำเอาส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งเป็นสารปรับสภาพดิน (Soil Conditioner) ไปพักไว้ 2-4 สัปดาห์ เพื่อให้คงสภาพ (Stable) ก่อนนำไปใช้ ส่วนที่เป็นน้ำที่เกิดจากการรีดกากตะกอนก็จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ในระบบ ส่วนน้ำส่วนเกินก็จะถูกส่งไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป สำหรับระบบที่เป็นแบบ Dry Digestion Process โดยทั่วไปการบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป สำหรับระบบที่เป็นแบบ Dry Digestion Process โดยทั่วไปการบำบัดขั้นหลังจะเป็นการรีดน้ำออกจากตะกอนเหลวแล้วนำส่วนที่เป็นของแข็งไปหมักแบบใช้อากาศ เพื่อปรับสภาพ (Maturation) ให้การย่อยสลายสารอินทรีย์สมบูรณ์มากขึ้น และส่วนที่เป็นของเหลวก้จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ในระบบหรือนำไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง

ภาพประกอบ 25 รูปแสดงการปรับสภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

ภาพประกอบ 26 รูปแสดงการนำตะกอนเหลวที่ผ่านการย่อยสลายแล้วไปใช้ในรูปของปุ๋ยน้ำ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

โดยสรุปหลักการทั่วไปในการควบคุมคุณภาพและใช้ประโยชน์จากเศษเหลือจากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอย่างปลอดภัย มีดังนี้คือ

1) ส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด

2) คัดเลือกชนิดและคุณภาพของขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบไม่ยอมให้ขยะมูลฝอยอันตราย และขยะมูลฝอยติดเชื้อเข้าสู่ระบบ

3) สุ่มเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบเป็นระยะๆ

4) ออกแบบและเดินระบบ Front-end Treatment ให้เหมาะสม หากจะต้องคัดแยกขยะอินทรีย์จากขยะมูลฝอยรวม

5) ควบคุมปัจจัยในการเดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (อุณหภูมิ ระยะเวลากักพัก) ให้เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการย่อยสลายอินทรีย์ และทำให้ขยะอินทรีย์คงสภาพ

6) มีระบบฆ่าเชื้อโรคหรือวิธีการควบคุมที่เท่าเทียมกันเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ ก่อโรค อย่างเหมาะสม

7) ใช้หลักการเกษตรเหมาะสมในการนำสารปรับสภาพดินไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก

หากสามารถจัดการคุณภาพสารปรับสภาพดินให้ได้ตามหลักการข้างต้น ก็จะสามารถมั่นใจได้ว่าจะได้รับประโยชน์จากการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะมูลฝอยอินทรีย์อย่างเต็มที่ซึ่งไม่เพียงแต่จะเป็นระแบบที่สามารถผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชน แต่ยังเป็นระบบที่มีอัตราการรีไซเคิลขยะอินทรีย์สูงสุด โดยการเปลี่ยนขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้เป็นสารปรับสภาพดินที่สามารถคืนความอุดมสมบูรณ์ให้กับธรรมชาติได้

การใช้พลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชนโดยเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายไม่ใช้ออกซิเจนจะขึ้นกับองค์ประกอบและคุณภาพของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะเกิดขึ้นกับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading) โดยทั่วไประบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 50-200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ (น.น.เปียก) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือประมาณ 200-600 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของแข็งระเหย (น.น.แห้ง) โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) ซึ่งได้มาจากการขุดเจาะ อย่างไรก็ตามก๊าซธรรมชาติมีองค์ประกอบอื่นที่นอกเหนือจากมีเทน ซึ่งได้แก่ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น บิวเทน (Butane) อีเทน (Ethane) และโปรเพน (Propane) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติมีค่าความร้อนสูงกว่าก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตามมีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ เป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน ที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยที่สุดและก็มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกรูปแบบที่ก๊าซธรรมชาติสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซชีวภาพ*
Lower Calorific Value	MJ/m^3	36.14	21.48
Density	Kg/ m^3	0.82	1.21
Maximum Velocity	m/s	0.39	0.25
Theory Air Requirement	m^3air/ m^3gas	9.53	5.71
Max. CO_2-conc. In Stack Gas	%Vol	11.9	17.8
Dew Point	°C	59	60-160

หมายเหตุ * เมื่อก๊าซชีวภาพมีมีเทนเป็นองค์ประกอบ 60 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 38 เปอร์เซ็นต์และก๊าซอื่นๆ 2 เปอร์เซ็นต์

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ กรณีทั้งในรูปของไฟฟ้าและความร้อน อย่างไรก็ตามจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนนำไปใช้ โดยองค์ประกอบสำคัญที่อาจจะต้องกำจัดก่อน ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบฮาโลเจน (Halogenated Compound) ดังนี้

1) การใช้ CHP-Engine สำหรับการเปลี่ยนพลังงานของก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อถือได้ และเป็นที่นิยมแพร่หลายมาเป็นเวลานาน โดยก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปเผาใน Internal Combustion Engine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากก๊าซชีวภาพมาเป็นพลังงานไฟฟ้าของ Internal Combustion Engine ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 200 กิโลวัตต์) จะมีประสิทธิภาพประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Internal Combustion Engine ขนาดใหญ่อาจมีประสิทธิภาพสูงสุดถึงประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์เมื่อก๊าซชีวภาพถูกนำมาผลิตไฟฟ้าใน Internal Combustion Engine ก็จะสามารถผลิตพลังงานความร้อนจากน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) และไอเสียเครื่องยนต์ (Exhaust Gas) ซึ่งการนำความร้อนนี้มาใช้ประโยชน์ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมในการเปลี่ยนพลังงานก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนของ Internal Combustion Engine สูงจนเป็น 65-85 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของ CHP-Engine จะมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น ขนาด 75 kWel ซึ่งใช้กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก จนถึงขนาดใหญ่หลายๆ เมกะวัตต์ เช่น ขนาด 5 MWel ซึ่งใช้กับก๊าซธรรมชาติ หรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ หรือก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

2) การใช้ Gas Turbine ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยระบบที่มีขนาดใหญ่ รูปแบบการผลิตไฟฟ้าอาจเป็นแบบ Combined Cycle ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของ Gas Turbine, Steam Turbine และ Waste Heat Recovery Boiler ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของ Gas Turbine สูงขึ้น โดย Gas Turbine อาจมีขนาดตั้งแต่ 200 kWel (Micro Turbine) ขึ้นไป แต่ Gas Turbine จะมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับ Internal Combustion Engine ก็ต่อเมื่อมีขนาดมากกว่า 800 kWel ขึ้นไป

3) การใช้ Boiler โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตน้ำร้อนและไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สิ่งสำคัญที่สุดในการเลือกระบบใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพก็คือ ขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน) รูปแบบความต้องการพลังงาน และความเป็นไปได้ในการส่งพลังงานออกสู่ภายนอก ซึ่งหากมีความต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักและมีความเหมาะสมในการส่งไฟฟ้าส่วนเกินจากที่ใช้ในระบบออกสู่สายส่ง ระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่ควรจะเลือกใช้ ก็คือ Gas Engine (CHP Engine) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้เพียงพอสำหรับการใช้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่หาก

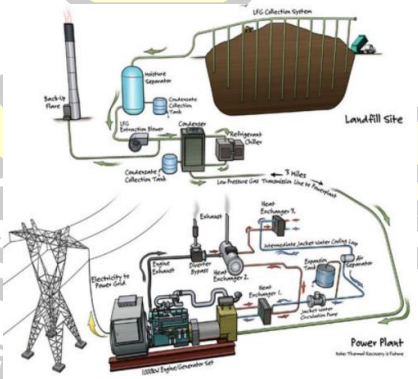
เป็นระบบขนาดใหญ่ มีความต้องการใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำเป็นหลักก็ควรพิจารณาเลือกใช้ Gas Turbine หรือ Boiler เป็นต้น

นอกเหนือจากการพิจารณาจากรูปแบบความต้องการพลังงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญซึ่งควรพิจารณา ได้แก่ ต้นทุนในการติดตั้ง ค่าเดินระบบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ความยากง่ายในการเดินระบบ ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน และปริมาณการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซมลพิษ เป็นต้น

4) การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ (Vehicle Fuel) สามารถทำได้เช่นเดียวกับการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องยนต์เดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ แต่สิ่งที่จะเป็นข้อจำกัดในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์คือคุณภาพของก๊าซซึ่งจะต้องทำการปรับปรุง (Upgrading) ก่อนนำมาใช้ ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้ เป็นการเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพให้มากขึ้น เพื่อให้ได้ระยะทางขับขี่ต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้มากขึ้น

2.3.4 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas to Energy Technology)

การกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบนั้น เป็นการนำขยะชุมชนมากองหรือฝังกลบในพื้นที่จัดเตรียมไว้ แล้วใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะมูลฝอยยุบตัวลงจนมีความหนาแน่นของชั้นขยะมูลฝอยตามที่กำหนดจากนั้นใช้ดินบดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงนำขยะมูลฝอยชุมชนมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องกลิ่น แมลง น้ำชะขยะ และเหตุเดือนร้อนรำคาญอื่นๆ



ภาพประกอบ 27 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกฝังกลบในช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Decomposition) ซึ่งเป็นการใช้อากาศที่แทรกอยู่ตามช่องว่าง

ภายในบริเวณฝังกลบ และเมื่อออกซิเจนที่มีอยู่หมดลง การย่อยก็จะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางเคมีของขยะมูลฝอยในบริเวณหลุมฝังกลบ ได้แก่ มีเทนคาร์บอนไดออกไซด์แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และแอมโมเนีย โดยจะพบก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อก๊าซชีวภาพหรือ Landfill Gas (LFG) โดยตรงในรูปของก๊าซดิบ (Raw Gas) ซึ่งมีค่าความร้อนปานกลาง หรือนำไปผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซ (Gas Upgrading) ก่อนนำไปใช้เพื่อให้มีค่าความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) หรือกังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) ได้อีกด้วยการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนโดยวิธีการฝังกลบนั้นเป็นวิธีที่ง่ายและใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก ปัจจุบันก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น สามารถจำแนกตามวิธีการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

2.3.4.1) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill หรือ Conventional Landfill) เป็นการพัฒนาและปรับปรุงระบบฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ภายในหลุมฝังกลบโดยปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบประกอบด้วย

ตารางที่ 7 แสดงปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบ

ปัจจัยพื้นฐาน	มูลเหตุ
- องค์ประกอบขยะมูลฝอย (Waste Composition)	เนื่องจากก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยแล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซ ดังนั้นหากในขยะมูลฝอยมีปริมาณขององค์ประกอบสารอินทรีย์มากย่อมทำให้มีก๊าซมีเทนมากเช่นกัน จากการคาดประมาณโดย Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC ในปี 1992 พบว่า มีปริมาณของก๊าซมีเทนที่ระบายจากพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยและพื้นที่เทกองขยะมูลฝอยขนาดใหญ่ทั่วโลกอยู่ในช่วงประมาณ 20-70 เทระกรัมต่อปี
- สภาพแวดล้อมแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Environment)	การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมแบบไร้ออกซิเจน (In Absence of Oxygen) ซึ่งการกลบทับชั้นขยะมูลฝอยด้วยวัสดุกลบทับ (Cover Material) ในกระบวนการฝังกลบฯ จะทำให้เกิดสภาวะดังกล่าวและทำให้มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น

ตารางที่ 7 แสดงปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบ (ต่อ)

ปัจจัยพื้นฐาน	มูลเหตุ
- ความชื้น (Moisture Content)	เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย โดยน้ำจะถูกนำไปใช้เป็นตัวกลางในการสร้างเซลล์หรือกระบวนการเมตาโบลิซึมของแบคทีเรีย รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการลำเลียงอาหารและแบคทีเรียในหลุมฝังกลบมูลฝอยโดยปริมาณความชื้นในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นเริ่มต้นของขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบปริมาณน้ำที่ซึมจากผิวดินและน้ำใต้ดิน รวมทั้งปริมาณน้ำที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของขยะมูลฝอย
- สภาพความเป็นกรด (Acidity)	เนื่องจากระบบการดำรงชีพของจุลินทรีย์เหล่านี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (วัดในรูปของความเป็นกรด) ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8-7.2 หากค่าพีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.50 จะส่งผลอัตราการผลิตก๊าซลดลงอย่างรวดเร็ว
- อุณหภูมิ	เป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน พบว่าช่วงอุณหภูมิที่มีอัตราการผลิตมีเทนสูงสุดจะอยู่ในช่วง 50-60°C แต่ทั้งนี้แบคทีเรียสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำ คือ 10 จนถึง 60°C โดยทั่วไปแล้วกระบวนการย่อยสลายขยะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอย จะทำให้เกิดความร้อนที่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิเหมาะสมกับกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากปัจจัยที่กล่าวในข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณและอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ได้แก่ ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (Refuse Density) การออกแบบสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย และปัจจัยอื่นๆ ที่มีนัยสำคัญ

องค์ประกอบหลักของการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลประกอบด้วย ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment System) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระบบรวบรวมน้ำชะขยะ (Leachate Collection System) ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

ภาพประกอบ 28 แผนภาพการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

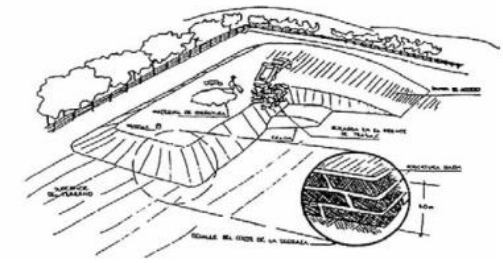
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

หลักการดำเนินงานทั่วไปสำหรับระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ และการปิดพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล มีรายละเอียดดังนี้

1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment System) ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยชุมชนให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น ได้แก่ การคัดแยก(Sorting) การบดย่อยขยะมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลง (Shredding) ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการบำบัดขยะมูลฝอยขั้นต้นก่อนทำการฝังกลบคือ สามารถลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน และกระตุ้นให้เกิดการทรุดตัวลงของขยะมูลฝอยได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณของขยะลดลงอย่างรวดเร็ว รวมทั้งช่วยลดระยะเวลาที่จะเกิดการปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย

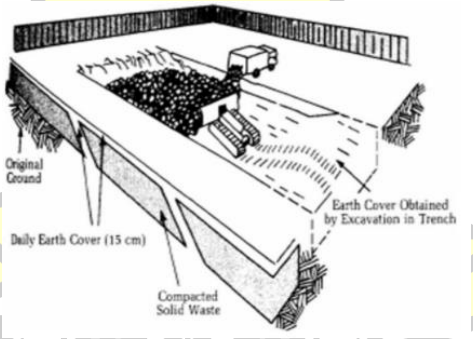
2) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ (Sanitary Landfill Operation) การดำเนินงานฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาลมีอยู่ 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

2.1) การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method) เหมาะสมกับบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศไม่เหมาะที่จะขุดเป็นร่องเพื่อกำจัดขยะมูลฝอย โดยการดำเนินงานจะเป็นการเทขยะมูลฝอยและเกลี่ยเป็นแถวยาว กว้างประมาณ 3-7 เมตรไปบนพื้นที่เป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาประมาณ 0.40-0.75 เมตร แล้วอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นถัดไปแล้วอัดทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ความหนาประมาณ 2-3 เมตร การดำเนินงานบดอัดขยะมูลฝอยจะต้องกะประมาณให้ครบวันพอดี จากนั้นกลบดินบนชั้นขยะมูลฝอยหนาประมาณ 0.15-0.30 เมตร ทุกครั้งก่อนเลิกงานประจำวัน



ภาพประกอบ 29 การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ (Sanitary Landfill Operation)
ที่มา : (https://www.stou.ac.th : เว็บไซต์)

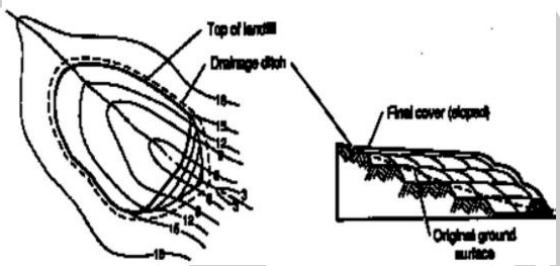
2.2) การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) วิธีนี้เหมาะสมกับสถานที่ฝังกลบที่มีดินที่มีลักษณะใช้เป็นดินกลบได้และชั้นดินมีความหนาพอสมควร โดยเริ่มจากการใช้รถขุดพื้นดินเป็นร่องยาวประมาณ 30-100เมตร กว้าง 5-8 เมตร ลึก 2 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างของร่องเป็นเขื่อนดินขยะมูลฝอยจะถูกเทไปในร่องโดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 0.45-0.60 เมตร แล้วอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้ ก่อนที่จะเทขยะมูฝอยชั้นต่อไปลงไปแล้วบดอัดใหม่เป็นชั้นทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ความสูงของชั้นขยะมูลฝอยตามต้องการโดยการกำหนดความยาวของร่องที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในแต่ละวันควรจะให้สามารถฝังกลบฯ ได้ตามความสูงที่กำหนดพอดี ทั้งนี้จะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะให้รถขยะมาถ่ายมูลฝอยลงได้พร้อมกันด้วยเพื่อป้องกันการสูญเปล่าในการรอคิวของรถขนขยะมูลฝอย



ภาพประกอบ 30 การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method)
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

2.3) การฝังกลบแบบบ่อหรือพื้นที่ลาดเอียง (Ramp Method) วิธีการฝังกลบแบบนี้เหมาะสำหรับสถานที่ฝังกลบที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ลาดเอียงหรือเป็นหลุมบ่อขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากการขุด เช่น หุบเขา ห้วย บ่อดิน บ่อเหมือง เป็นต้น เทคนิคในการทิ้งและบดอัดขยะมูลฝอยในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศของสถานที่นั้นๆ รวมทั้งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินกลบ สภาพชั้นดิน แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณนั้น และ

สภาพถนนทางเข้า-ออก หากสถานที่ฝังกลบมีพื้นของบ่อหรือห้วยที่ใช้เป็นพื้นที่ฝังกลบมีสภาพค่อนข้างราบ การฝังกลบในชั้นแรกอาจใช้วิธีแบบร่อง เมื่อฝังกลบในชั้นแรกเสร็จเรียบร่อยจึงเริ่มฝังกลบในชั้นถัดไป ในการฝังกลบขยะด้วยวิธีนี้ ควรให้ความสูงของชั้นฝังกลบขั้นสุดท้ายอยู่เหนือระดับพื้นดินในบริเวณข้างเคียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อมีการทรุดตัวของขยะมูลฝอยในบริเวณฝังกลบก็จะทำให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับพื้นดินบริเวณข้างเคียง



ภาพประกอบ 31 การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method)

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

3) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas Collection System)

3.1) รูปแบบของระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

- ระบบรวบรวมท่อเป็นแนวดิ่ง (Vertical Extraction Well) โดยการฝังท่อในแนวดิ่งเพื่อให้ก๊าซไหลเข้าท่อโดยที่ปลายด้านล่างของบ่อจะถมด้วยกรวด ท่อที่ใช้จะเป็นแท่ง PVC หรือ HDPE

- ระบบรวบรวมท่อรวมก๊าซในแนวนอน (Horizontal Collectors) ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการรวมก๊าซได้มากขึ้น โดยลักษณะท่อที่ใช้เป็นท่อที่เจาะรูโดยรอบ มีระยะห่างเท่ากัน หรือเป็นท่อที่มีลักษณะต่างๆ กัน แต่นำมาต่อกันเป็นท่อแขนง

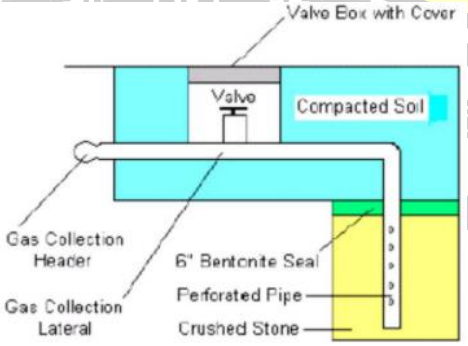
- ระบบรวบรวมก๊าซแบบผสมผสาน (Hybrid Collection System) ระบบนี้ประกอบด้วยระบบท่อรวบรวมก๊าซในแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งจะช่วยรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพประกอบ 32 ระบบรวบรวมก๊าซแบบผสมผสาน (Hybrid Collection System)
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

3.2) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ในการควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยที่ระบายออกสู่บรรยากาศ แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

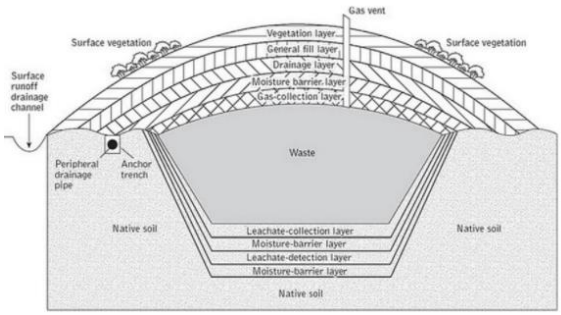
- ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Passive System เป็นระบบควบคุมก๊าซชีวภาพที่ง่ายที่สุด มักจะใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะขนาดเล็กหรือใช้กับสถานที่ฝังกลบมูลฝอยที่ปิดการใช้งานแล้ว (Closed Landfill Site) หรือใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในพื้นที่ฝังกลบขนาดใหญ่เพื่อให้ก๊าซชีวภาพสามารถระบายออกสู่บรรยากาศได้ดีที่สุด ในสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดเล็กหรือสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยที่ปิดการใช้ชั่วคราวบางแห่ง ก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้บางครั้งถูกระบายออกสู่บรรยากาศโดยตรงโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน อย่างไรก็ตามควรพิจารณาการติดตั้งระบบเผาทิ้ง (Flaring) หรือการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เพื่อควบคุมการระบายก๊าซมีเทนและปัญหาเรื่องกลิ่นจากสถานที่ฝังกลบ

- ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Active System ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบนี้มักประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมและนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ แทนการระบายทิ้ง



ภาพประกอบ 33 ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Active System
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

- ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Physical Barrier เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพแพร่กระจายออกทางผิวหน้าของหลุมฝังกลบโดยสำหรับสถานที่ฝังกลบแห่งใหม่สามารถออกแบบร่วมกับการใช้วัสดุปูพื้นหรือวัสดุธรรมชาติ เป็นระบบที่ได้ถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลมากที่สุดเนื่องจากสามารถควบคุมการสูญเสียก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ ควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่นได้ และสามารถลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซจากพื้นผิวหลุมฝังกลบได้ โดยการปูพื้นด้วยวัสดุรองพื้น (Lining) ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนกับ Physical barrier ช่วยป้องกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบไหลออกไปนอกระบบผ่านผิวของหลุมฝังกลบได้ รวมทั้งสามารถรวบรวมก๊าซเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้



ภาพประกอบ 34 ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Physical Barrier
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

4) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Gas Utilization System)

การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นเริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่นิยมใช้ทั่วๆ ไป ได้แก่ กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ขนาดของเครื่องยนต์ที่ใช้งานมีตั้งแต่ 100 กิโลวัตต์ ขึ้นไปจนถึงหลายเมกกะวัตต์ การเลือกใช้เครื่องยนต์ในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายประการ เช่น อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ และคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ความพร้อมจ่ายของระบบผลิตไฟฟ้า ข้อกำหนดของเครื่องยนต์ในการบำบัดก๊าซเบื้องต้น ความต้องการดูแลรักษาระบบ ความคุ้นเคยของผู้ควบคุมระบบกับระบบที่เลือกใช้ ความยืดหยุ่นของระบบ ตลอดจนอายุการใช้งานและราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาระบบ3

ทางเลือกในการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยมีอยู่ 3 แนวทาง คือ การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียง (Local Gas Use) การผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity Generation) และการส่งเข้าสู่ระบบท่อก๊าซ (Pipeline Injection) ดังนี้

4.1) Local Gas Use เป็นการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียงกันกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยโดยรัศมีไม่เกิน 3 กิโลเมตรจากพื้นที่โครงการ เนื่องจากจะไม่มีความคุ้มทุนในด้านของ

ระบบส่งก๊าซ (Gas Transmission System) จากสถานที่ฝังกลบไปยังจุดที่ต้องการใช้งาน ซึ่งส่วนใหญ่จะขนส่งด้วยระบบท่อ โดยก๊าซที่ได้จากสถานที่ฝังกลบจะต้องผ่านการบำบัดก๊าซเพื่อกำจัดไอน้ำและฝุ่นละอองที่ปนอยู่ออกไปโดยใช้ระบบกรองหรือระบบแยกน้ำ ก๊าซที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 35-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก๊าซนี้สามารถนำไปใช้ได้กับทั้งหม้อไอน้ำ (Bolier) และเครื่องยนต์ (Engine) โดยทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบขนส่งด้วยท่อ รวมทั้งปัญหา-อุปสรรคในการก่อสร้างระบบด้วย

4.2) การผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity Generation) เป็นการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนโดยการนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้งานในโครงการเอง หรือส่งเข้าระบบสายส่งไฟฟ้า (Local Electric Power Grid) โดยระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้งาน ได้แก่ Internal Combustion Engine (IC Engine) และกังหันก๊าซ (Gas Turbine) โดยกังหันก๊าซเหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขนาดใหญ่ รวมทั้งการเดินกังหันก๊าซต้องเดินเครื่องด้วยอัตราคงที่ไม่สามารถเปิด-ปิดเครื่องตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันได้ นอกจากนี้กังหันก๊าซยังเป็นระบบที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งจ่ายให้กับระบบสายส่งอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ส่วนระบบ IC Engine นั้นเป็นระบบที่สามารถปิด-เปิดเครื่องได้อย่างง่ายดาย จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้งานภายในพื้นที่มากกว่า

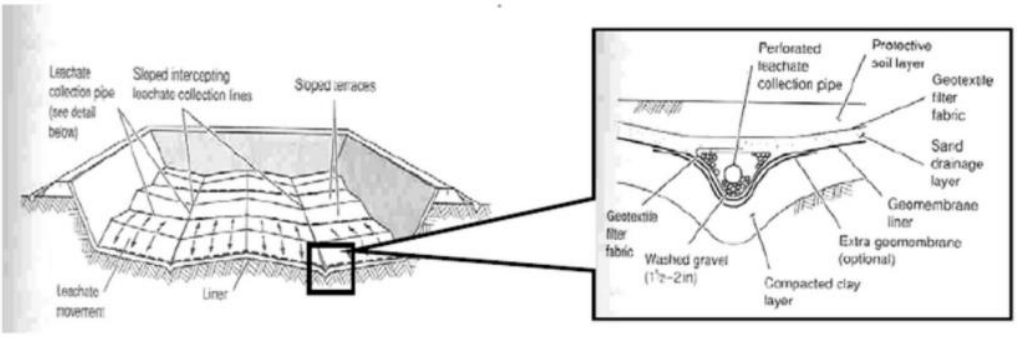
4.3) Pipeline Injection ในกรณีที่ไม่มีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในพื้นที่ใกล้เคียง โดยจะต้องผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซ และการอัดเพื่อเพิ่มความดันก่อนส่งผ่านไปยังท่อความดันต่อไป

5) ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม

ผลที่เกิดจากการย่อยสลายขยะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพแล้วยังเกิดน้ำชะขยะขึ้นอีกด้วย โดยน้ำชะขยะจะเกิดจาก 2 ส่วน คือ จากความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในองค์ประกอบของขยะมูลฝอยและเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงบริเวณหลุมฝังกลบและซึมผ่านชั้นดินกลบทับลงไปจนถึงชั้นขยะมูลฝอยซึ่งน้ำชะขยะนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับน้ำใต้ดินตามมาได้ ดังนั้นสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยจึงต้องมีการออกแบบระบบควบคุมาทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งได้แก่ ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะและระบบติดตามตรวจสอบน้ำใต้ดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1) ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะ ในการจัดการระบบฝังกลบขยะมูลฝอยที่ดีจะต้องพิจารณาการควบคุมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นควบคู่ไปพร้อมกับการจัดการน้ำชะขยะด้วย โดยก๊าซควรจะถูกระบายสู่บรรยากาศ ในขณะที่น้ำชะขยะควรจะถูกเก็บกักไว้ในชั้นฝังกลบ หรือระบายออกทางด้านล่าง เพื่อนำไปบำบัดก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำต่อไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในพื้นที่ฝังกลบจะมีอยู่ 2 ทิศทางคือ การเคลื่อนที่ซึมลงสู่ด้านล่างในแนวดิ่ง และไหลออกทางด้านข้างของหลุมฝังกลบ วิธีการควบคุมน้ำชะขยะไม่ให้ไหลซึมออกนอกพื้นที่ฝังกลบคือ การใช้วัสดุที่น้ำซึม

ผ่านได้ยากเป็นวัสดุรองพื้นโดยรอบบริเวณฝังกลบ เช่น ดินอัด ดินเหนียวอัด สารเคมีอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต ซิลิเกต หรือไพโรฟอสเฟต เป็นต้น สารเคมีสังเคราะห์ ได้แก่ โพลิเมอร์ ยางลาเท็กซ์ เป็นต้น แผ่นรองพื้นทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ ยางบิวทิล โพลีเอทิลีน ไนลอน เป็นต้น และการใช้ยางมะตอยหรือแอสฟัลท์เป็นวัสดุรองพื้น นอกจากนี้ยังต้องมีการควบคุมไม่ให้น้ำจากภายนอกไหลเข้าสู่ชั้นขยะมูลฝอยได้ง่าย โดยการใช้ดินกลบที่มีคุณสมบัติน้ำซึมผ่านได้ยากกลบชั้นขยะมูลฝอย โดยให้มีความลาดเอียงประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และจัดให้มีการระบายน้ำโดยรอบบริเวณฝังกลบอย่างเพียงพอ



ภาพประกอบ 35 ลักษณะความลาดชันของพื้นหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อวางระบบรวบรมน้ำขยะ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

5.2) ระบบติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย โดยต้องติดตั้งบ่อตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินทั้งจุดเหนือ และท้ายน้ำตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อติดตามตรวจสอบสารปนเปื้อนอาจเกิดจากการรั่วซึมของน้ำชะขยะ

6) การปิดพื้นที่ฝังกลบ (Cover Systems) การปิดพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอย แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

6.1) การปิดชั้นฝังกลบรายวัน (Daily Cover) เป็นการปิดทับขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบในแต่ละวัน เพื่อป้องกันปัญหาเหตุเดือดร้อนรำคาญเนื่องจากกลิ่น การคุ้ยเขี่ยขยะ แมลง ไฟไหม้ หรือการไหลซึมของน้ำสู่ชั้นฝังกลบขยะ โดยวัดุที่ใช้ในการปิดทับชั้นฝังกลบขยะรายวันนั้นอาจเป็นดินที่ได้จากการขุดในพื้นที่ หรือนำมาจากที่อื่นก็ได้ ความหนาของชั้นดินปิดทับรายวันประมาณ 0.15-0.30 เมตร

6.2) การปิดชั้นฝังกลบขยะบริเวณด้านบนและด้านข้างของชั้นฝังกลบ เพื่อกันความเสียหายเนื่องจากการขนส่งโดยรถเก็บขนขยะและสภาพภูมิอากาศ รวมถึงป้องกันการระบายก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบด้วย เรียกว่า Intermediate Cover

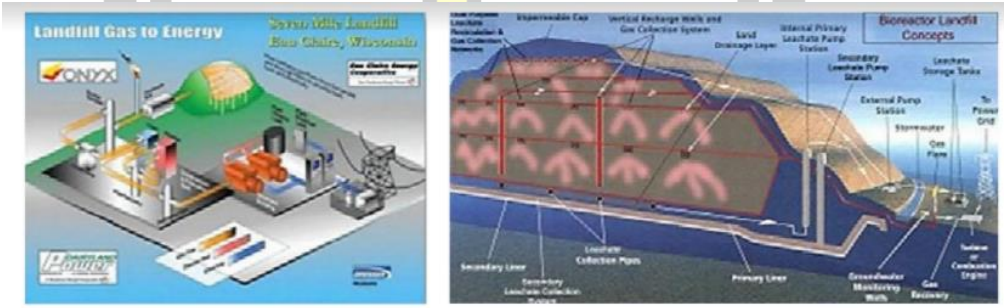
6.3) การปิดชั้นฝังกลบขั้นสุดท้าย (Final Cover) เป็นการปิดชั้นฝังกลบเมื่อทำการฝังกลบขยะมูลฝอยจนได้ระดับที่ออกแบบไว้แล้ว เพื่อป้องกันการซึมของน้ำฝนเข้าสู่ชั้นฝังกลบและการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เมื่อทำการปิดชั้นฝังกลบขั้นสุดท้ายเสร็จสิ้นแล้วต้องมีการปลูกพืชคลุมทับอีกครั้งตามเกณฑ์มาตรฐาน

2.3.4.2) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบ Bioreactor Landfill เนื่องจากระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบใช้ระยะเวลายาวนาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงแบบของการฝังกลบขึ้นในช่วงต้นๆ ของศตวรรษที่ 21 เรียกว่า Bioreactor Landfill ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้างเหมือนกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) คือ ต้องมีการปูวัสดุรองพื้น (Lining System) และระบบรวบรวมน้ำชะขยะ (Leachate Collection System) แต่มีหลักการในการออกแบบระบบที่แตกต่างไปจากการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือ Conventional Landfill เพื่อย่นระยะเวลาของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนให้มีสภาวะเสถียรและคงที่ภายในเวลา 5-10 ปี การเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงกว่าระบบ Conventional Landfill โดยการเสถียรและคงที่ของสถานที่ฝังกลบนั้น หมายถึง สภาวะแวดล้อมต่างๆ ของระบบคงที่ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas Composition) อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (Gas Generation Rate) ความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของน้ำชะขยะ (Leachate Constituent and Concentration) ซึ่งไม่ควรจะมีความปรวนแปรมากนักในช่วง 5-10 ปีของการดำเนินงานหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill หลักการในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลนั้นเป็นการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยแบบแห้ง (Dry Landfill) โดยมีค่าความชื้นของชั้นขยะมูลฝอยประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบจะถูกนำมาเกลี่ยให้มีความหนาเท่าๆ กันก่อนบดอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นที่ออกแบบไว้จากนั้นกลบทับด้วยดินซึ่งเป็นการปิดทับชั้นฝังกลบรายวันจนกระทั่งได้ความสูงของชั้นขยะตามที่ออกแบบจึงปิดทับด้วยดินเป็นการปิดทับขั้นสุดท้าย (Final Cover) ซึ่งการฝังกลบแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานหลายสิบปี (30-200 ปี) จึงเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนจากน้ำชะขยะได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ปูรองพื้นมีการชำรุดเสียหายตามอายุของการใช้งาน

ส่วนหลักการพื้นฐานในการออกแบบ/ดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill คือ การออกแบบและการดำเนินงานระบบแบบเฉพาะเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร/ผัก/ผลไม้ กระดาษ และอื่นๆ โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสมและเติมสารอาหารที่จำเป็น (Nutrients) ให้แก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการย่อสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วยสำหรับข้อดีนั้นนอกจากจะช่วยในการย่นระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนแล้ว ยังช่วยทำให้เกิดความ

เสถียรภาพของระบบได้เร็วขึ้นอีกด้วย ในการควบคุมความชื้นของระบบ Bioreactor Landfill นั้นทำได้โดยการเติมน้ำหรือหมุนเวียนน้ำชะขยะเข้าไปในระบบ เพื่อให้ชั้นขยะมูลฝอยมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

องค์ประกอบหลักในการดำเนินงานผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบ Bioreactor Landfill ประกอบด้วย ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) การดำเนินงานฝังกลบในพื้นที่ ระบบรวบรวมและควบคุมน้ำชะขยะ (Collection and Control of Leachate) ระบบการรวบรวมก๊าซชีวภาพ และระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



แบบ Conventional Landfill แบบ Bioreactor Landfill

ภาพประกอบ 36 รูปแสดงความแตกต่างระหว่างการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ระบบบำบัดขั้นต้นมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะชุมชนได้ดีขึ้น ช่วยลดโอกาสในการเกิดมลพิษ และช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายในพื้นที่ฝังกลบ โดยจะทำการคัดแยก (Sorting) การบด-ตัดขยะมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลง (Shredding) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้น วิธีการนี้จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน

ในการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบ Bioreactor Landfill นั้นต้องการความหนาแน่นที่ไม่สูงมากนัก เพื่อให้การหมุนเวียนน้ำชะขยะผ่านชั้นขยะมูลฝอยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่กระบวนการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill ควรเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ ประกอบด้วย กระดาษ ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า เศษอาหาร โดยสารอินทรีย์ควรมีสัดส่วนของของแข็งระเหย (Volatile Solid) อย่างน้อย 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่แบบ Bioreactor Landfill แบ่งออกได้เป็น 4 แบบหลัก คือ

2.1) Aerobic Bioreactor Landfill เป็นการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนที่มีการเร่งกระบวนย่อยสลาย โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจและการสร้างเซลล์จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยเปลี่ยนไปให้เป็นพลังงานและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในระบบฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Aerobic Biroreactor Landfill นี้จะมีการเติมอากาศเข้าไปในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ผลที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิตแทนมีเทน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จนเข้าสู่สภาวะเสถียรจะใช้เวลาน้อยกว่า 2 ปี

2.2) Anaerobic Bioreactor Landfill เป็นการสร้างสภาวะให้หลุมฝังกลบมีสภาพเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ซึ่งจุลินทรีย์ประเภทนี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ก่อนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความชื้นของชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยที่เหมาะสมควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 35-40 เปอร์เซ็นต์ วิธีการที่ใช้ในการเพิ่มค่าความชื้นในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมของเหลวหรือน้ำชะขยะเข้าไปชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยโดยผ่านระบบหมุนเวียนน้ำชะขยะ หรืออาจใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียในการช่วยเพิ่มค่าความชื้นได้เช่นเดียวกัน ซึ่งทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น

2.3) Facultative Bioreactor Landfill เป็นระบบผสมผสานระหว่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กับกลไกการควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำชะขยะหมุนเวียน โดยน้ำชะขยะที่เกิดจากชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงจะถูกบำบัดด้วยในระบบฝังกลบขยะแบบ Facultative Biroreactor นี้ ต้องมีปริมาณความชื้นอย่างเพียงพอที่จะทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำชะขยะหมุนเวียนหรือในรูปของของเหลวอื่นๆ เช่น ตะกอนของจุลินทรีย์ (Sewage Sludge) หรือน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินเป็นต้น เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับระบบเช่นเดียวกับ Anaerobic Bioreactor Landfill

2.4) Aerobic-Anaerobic Bioreactor Landfill หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Hybrid Bioreactor Landfill เป็นระบบที่ถูกออกแบบเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น โดยใช้ระบบผสมผสานระหว่าง Aerobic และ Anaerobic Biroreactor วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบนี้ก็เพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนอย่างรวดเร็วในขั้นตอนย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ในขณะเดียวกันจะลดการเกิดกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เข้าสู่ขั้นตอนการผลิตมีเทนเร็วขึ้น ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยประเภทนี้จะประกอบด้วย ก๊าซแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยก๊าซมีเทน

และคาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ

3) ระบบรวบรวมและควบคุมน้ำชะขยะ (Leachate Collection and Controls) น้ำชะขยะที่เกิดขึ้นจะไหลซึมผ่านขยะมูลฝอยและชะละลายสารต่างๆ ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยปนออกมากับน้ำชะขยะ ซึ่งรวมถึงสารที่มีโอกาสเป็นสารอันตรายได้ ลักษณะคุณสมบัติของน้ำชะขยะนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบและปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพโดยปริมาณน้ำชะขยะที่ไหลออกจากหลุมฝังกลบขยะนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย ดังนั้น เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินจากน้ำชะขยะ จึงต้องอาศัยเทคนิคต่างๆ ในการจัดการน้ำชะขยะ ได้แก่ การรวบรวมและการบำบัดน้ำชะขยะ (Leachate Collection and Treatment) การหมุนเวียนน้ำชะขยะ (Leachate Recirculation) และการระเหยน้ำชะขยะ (Leachate Evaporation)

3.1) การรวบรวมและการบำบัดน้ำชะขยะ (Leachate Collection and Treatment) ระบบรวบรวมน้ำชะขยะที่ใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill นั้น มีลักษณะคล้ายกับระบบรวบรวมที่ใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล โดยน้ำชะขยะที่ไหลซึมผ่านชั้นวัสดุรองพื้นไปยังระบบท่อรวบรวมน้ำชะขยะที่มีการออกแบบควบคุมระดับความสูงของน้ำชะขยะเหนือวัสดุรองพื้นที่ค่าต่ำสุดไม่เกิน 30 เซนติเมตร โดยท่อรวบรวมน้ำชะขยะจากแต่ละส่วนย่อยจะเชื่อมต่อกับท่อรวบรวมขนาดใหญ่ขึ้น และจะส่งต่อไปยังบ่อพัก และสูบต่อไปยังระบบบำบัดน้ำชะต่อไป โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาอยู่ 4 ปัจจัยคือ อัตราการไหลของน้ำชะขยะเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำชะขยะ ค่าความซึมผ่านได้ (Permeability) ของวัสดุที่ใช้ในการรวบรวมน้ำชะขยะ (Drainage Layer) ระยะทางจากจุดไกลสุดของน้ำชะขยะมาถึงท่อรวบรวมน้ำชะขยะ (Length of Drainage Path) และความลาดชั้นของวัสดุที่ใช้ปูรองพื้น (Slope of Liner) วัสดุที่ใช้ในการรวบรวมน้ำชะขยะ โดยทั่วไปจะใช้วัสดุที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย เช่น ทราย กรวด หรือวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geonet ในการออกแบบระบบเก็บกักน้ำชะขยะที่ดีต้องไม่เกิดการขังอยู่ในพื้นที่ฝังกลบหรือเกิดการล้นออกจากพื้นที่ฝังกลบ หรือเกิดการปนเปื้อนกับน้ำฝน ซึ่งต้องพิจารณาถึงสมดุลมวลน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ฝังกลบทั้งหมด ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่ฝังกลบทั้งที่เป็นน้ำไหลซึม น้ำไหลนอง (Runoff Water) น้ำที่ระเหย (Evaporated Water) ความชื้นในขยะมูลฝอย และความชื้นที่เกิดจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะเข้าสู่ชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย หรือน้ำชะขยะที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย โดยทั่วไป ปริมาตรของระบบกักพักน้ำชะขยะสำหรับหมุนเวียนควรอยู่ในช่วง 1,500-2,000 ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์

3.2) ระบบการหมุนเวียนน้ำชะขยะ (Leachate Recirculation) เป็นการรวบรวมและหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับสู่หลุมฝังกลบขยะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน

ชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย เนื่องจากระยะแรกของการฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น น้ำชะขยะจะมีค่าความเข้มข้นของสารต่างๆ สูง เช่น ค่าของแข็งละลาย (TDS) บีโอดี ซีโอดี และปริมาณโลหะหนัก การหมุนเวียนน้ำชะขยะจะทำให้เกิดค่าปฏิกิริยาทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี ที่ทำให้มีการบำบัดบีโอดีที่ดีขึ้น และยังเป็นการเพิ่มสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วย นอกจากประโยชน์ในข้างต้นแล้ว น้ำชะขยะที่หมุนเวียนกลับมาใส่ในชั้นฝังกลบนี้ยังช่วยเพิ่มค่าความชื้น ซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสารอาหารและจุลินทรีย์ในระบบให้มีความสม่ำเสมอทั้งชั้นฝังกลบอีกด้วย น้ำชะขยะที่รวบรวมได้จากหลุมฝังกลบขยะจะถูกนำไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนหมุนเวียนเข้าสู่หลุมฝังกลบ

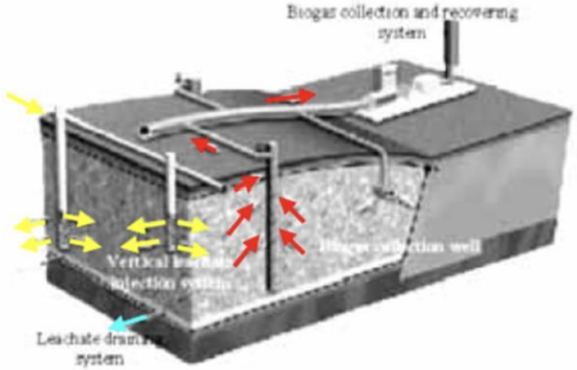
ภาพประกอบ 37 ลักษณะของ Surface Pond ที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะขยะ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

4) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ ระบบรวบรวมก๊าซที่ใช้โดยทั่วไป ประกอบด้วย ท่อรวบรวมก๊าซในแนวตั้ง (Vertical Wells) ซึ่งจะก่อสร้างเมื่อปิดการใช้งานหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ท่อรวบรวมก๊าซในแนวตั้งนี้จะมีลักษณะคล้ายกับท่อที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน มีลักษณะที่เป็นรูพรุน (Perforated Pipe) โดยจะล้อมรอบท่อด้วยวัสดุที่มีความพรุน (Permeable Media) เช่น กรวด

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยจะไหลผ่านเข้าสู่ท่อรสบรวมก๊าซโดยอาศัยความแตกต่างของความดันภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยกับความดันบรรยากาศ (Passive Venting) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรวบรวมก๊าซที่ไม่สูงนัก ดังนั้นเทคนิคการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะโดยใช้ระบบสุญญากาศจึงถูกนำมาใช้ทดแทน โดยระบบนี้จะวางท่อรวบรวมก๊าซมีลักษณะเป็นโครงข่าย (Pipe Network) ซึ่งจะต่อเข้ากับพัดลมดูดอากาศ (Blower) โดยพัดลมดูดอากาศจะทำให้เกิดสภาพสุญญากาศในระบบท่อรวบรวมก๊าซและภายในบ่อ

และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของก๊าซจากชั้นฝังกลบขยะเข้าสู่ระบบท่อรวบรวมก๊าซ เรียกระบบนี้ว่าเป็นระบบรวบรวมก๊าซแบบ Active Collection System ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถดึงก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงทำให้มีก๊าซที่ระเหยออกจากหลุมฝังกลบไปในบรรยากาศในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามระบบรวบรวมก๊าซโดยใช้วิธี Active Collection System นี้อาจทำให้อากาศไหลเข้าภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยได้ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนหยุดชะงักลง รวมทั้งอาจทำให้เกิดปัญหาไฟไหม้สถานที่ฝังกลบขยะ

5) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ การผลิตพลังงานจากระบบกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีการก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill ซึ่งก๊าซส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill gas, LFG) ถือเป็นก๊าซที่มีค่าความร้อนปานกลาง อยู่ระหว่าง 14,900-20,500 kJ/m^3 ขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ของมีเทน



ภาพประกอบ 38 รูปแสดงหลักการในการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจาก Bioreactor Landfill
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

การใช้ประโยชน์จากก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกสุขาภิบาลหรือแบบ Bioreactor Landfill จะมีหลักการและระบบที่เหมือนกันคือ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct Use) การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์เป็นต้น หลักการในกาผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย Bioreactor Landfill สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 8 สรุปการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ

การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ	รายละเอียด
1. Internal Combustion Reciprocation Engines	- ใช้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบมีการใช้งานกันมากในสหรัฐอเมริกา
2. Medium Btu Fuel	- ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรมเตาเผากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และใช้ในการให้ความอบอุ่นกับอาคารบ้านเรือน - ข้อดีคือมีค่าติดตั้งค่าดำเนินการและ บำรุงรักษาที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซชีวภาพ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางที่จะวางระบบท่อขนส่งก๊าซไปยังผู้ใช้ ซึ่งควรมีระยะทางไม่เกิน 1 ไมล์
3. เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง (High Btu Fuel)	- โดยการนำก๊าซชีวภาพไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อแยกก๊าซที่ไม่ต้องการออกไปและได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถบรรทุก รถบัสและยานพาหนะอื่นๆ หรือใช้ในภาคอุตสาหกรรม หรือส่งเข้าระบบท่อก๊าซธรรมชาติ
4. Microturbine	- มีลักษณะเป็น Gas Turbine Generator ขนาดเล็กที่ผลิตกระแสไฟฟ้าแทน IC Engine หรือ GCT
5. Combined Cycle Plant (CCP)	- ประกอบด้วย Gas Combustion (GCT) ตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป และ Hot Exhaust Gas ที่ต่อกับ Heat Recovery Steam Generator (HRSG) โดยไอน้ำความดันสูงจาก Steam Turbine Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
6. Fuel Cells	- ใช้หลักการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ และนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในกระบวนการ Catalytic และใช้ Fuel Cells หลายๆ หน่วยมาผลิตกระไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาการนำก๊าซ LFG ไปใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของการ LFG ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของขยะที่นำมาฝังที่หลุมฝังกลบ, ความหนาของหน้าดินกลบ และประสิทธิภาพในการดูดก๊าซขึ้นมาจากหลุมฝังกลบ จากการรายงานของ USEPA (1996) ได้สรุปความสัมพันธ์ของสมการในการเลือกเทคโนโลยีของการใช้ประโยชน์ของก๊าซ LFG กับจำนวนขยะต่อหน่วยพื้นที่ไว้

ตารางที่ 9 รูปแบบที่เป็นไปได้สำหรับการใช้ประโยชน์ LFG

รูปแบบการใช้ประโยชน์	จำนวนขยะที่ควรมีในพื้นที่	คุณภาพก๊าซ (%CH_4)
การใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเขตพื้นที่ข้างเคียงการผลิตกระแสไฟฟ้า	1 ล้านตัน	35%
IC Engine	1.5 ล้านตัน	40%
Gas Turbine	2 ล้านตัน	40%
การต่อเข้าสู่ระบบท่อส่งก๊าซ		
Medium Quality Gas Pipelines	1 ล้านตัน	30-50%
High Quality Gas Pipelines	1 ล้านตัน	95%
รูปแบบอื่น		
การเผาก๊าซทิ้ง	ทำได้กับทุกพื้นที่	20%

การเลือกวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ของก๊าซดังกล่าวจะต้องทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโดยละเอียด ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการตัดสินใจในการดำเนินโครงการใช้ประโยชน์รูปแบบต่างๆ คือ ปริมาณและคุณภาพก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจากหลุมฝังกลบมูลฝอย รวมทั้งต้องพิจารณาความต้องการพลังงานและความเป็นไปได้ ปัจจัยอื่นๆ ที่จำเป็นต้องศึกษา คือ ข้อมูลเทคนิค ข้อมูลด้านต้นทุนของระบบ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระบบผลิตพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบเป็นการนำขยะชุมชนทั้งหมดมากำจัดด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanirary Landfill) พร้อมติดตั้งระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas) ซึ่งอาจจะเพิ่มเติมระบบปรับปรุงคุณภาพของก๊าซที่ได้เพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยทั่วไปวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลจะก่อให้เกิดมลภาวะส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำชะขยะ (Leachate) การปลิวของขยะและกลิ่นเหม็นรบกวนจากกองขยะ รวมทั้งไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์สำหรับผลิต กระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตพลังงานจากขยะโดยวิธีฝังกลบ อย่างถูกหลักสุขาภิบาล แล มาตรการป้องกัน ได้ดังนี้

น้ำชะขยะ (Leachate) มาตรการควบคุมป้องกันน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นในสถานที่ฝังกลบ ได้แก่ การใช้วัสดุ สังเคราะห์ HDPE ปูพื้นก่นหลุมฝังกลบ รวมทั้งการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ประกอบไปด้วยระบบรวบรวม(collection System) และระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System) ซึ่งระบบรวบรวมน้ำเสียจะทำการจัดวางในชั้นล่างสุดของชั้นขยะกลบ (Lowest Lift) เพื่อรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของขยะและส่งไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งการเลือก

รูปแบบระบบรวบรวมและระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ราคาและความกว้างของที่ดิน ความชำนาญ ของผู้ดำเนินการ เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น แบบบ่อบำบัดตามธรรมชาติ (Facultative Pond) หรือ Muturation Pond) เป็นต้น ก่อนที่จะระบายทิ้งหรือนำกลับไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่

กลิ่นเหม็นรบกวน เกิดจากอินทรีย์สารที่เน่าเปื่อยและย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในขยะมูลฝอยมาตรการควบคุมป้องกันที่ปฏิบัติโดยทั่วไป จะใช้วัสดุดินกลบทับเป็นประจำทุกวันหลังเสร็จการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมป้องกันการแพร่กำจัดหรืออย่างน้อยควรปลูกในแนวที่ลมผ่านและเข้มงวดในการถมขยะที่บดอัดแล้วให้เรียบร้อยในแต่ละวันนอกจากนี้อีกแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาด้านกลิ่นคือการนำเอาเชื้อจุลินทรีย์มาเพาะเลี้ยงแล้วฉีดสเปรย์ในบริเวณกองขยะที่ทำการฝังกลบจะช่วยลดกลิ่นให้น้อยลงได้ทั้งนี้เพราะจุลินทรีสามารถยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟล์ได้ จึงทำให้ปริมาณการเกิดก๊าซและกลิ่นลดน้อยลง

ไอเสีย (Exhaust gas) เป็นอากาศเสียที่เกิดจากการทานของเครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีการ
ติดตั้งระบบควบคุมอากาศเสียในรูปของ CO และ NOx ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของทางภาครัฐ

เสียงรบกวน เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ สามารถควบคุมได้โดยติดตั้งภายใน ห้องควบคุมที่ออกแบบมาโดยเฉพาะให้เกิดเสียงดับรบกวนสู่ภายนอกน้อย

การป้องกันขยะปลิว ในพื้นที่ปฏิบัติงานแต่ละวันควรจัดให้มีมาตรการป้องกันขยะปลิวเพราะจะทำให้ทัศนียภาพบริเวณกำจัดไม่น่าดูและอาจเป็นการแพร่เชื้อโรคได้ อาจทำได้โดยการจัดรั้วเป็นตาข่ายแบบโยกย้าย (Movable Fence) โดยควรติดตั้งรั้วตาข่ายทางด้านท้ายลม และควรทำรั้วสูงไม่น้อยกว่า 3 เมตร

2.3.5 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF)

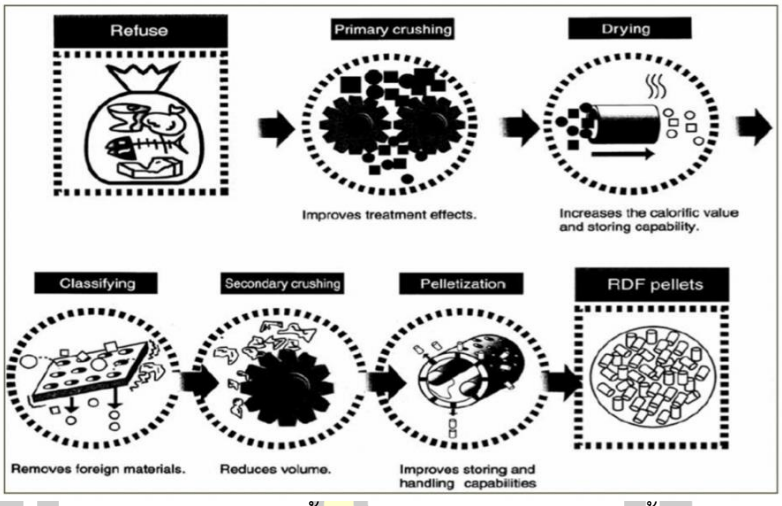
การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะ มูลฝอย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชนและตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อความ ยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบโรงเผาและผู้ปฏิบัติและควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ยาก การแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอยเพื่อทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้ ซึ่งเชื้อเพลิงขยะที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้

เชื้อเพลิงขยะ หมายถึง ขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การฉีกหรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็กๆ เชื้อเพลิงขยะที่ได้นี้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอกว่า ข้อดีของเชื้อเพลิงขยะ คือค่าความร้อนสูง (เมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมา) ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่า เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการที่ใช้ ดังนี้

ตารางที่ 10 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF 1 : MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหมได้ออกมาด้วยมือรวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF 2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	FBC, MFC
RDF 3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะแก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็ก 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของฝุ่น	FBC, PF
RDF 5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600kg/m^3	FBC, MFC
RDF 6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Swirl burner
RDF 7 : RDF Syngas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, IGCC

การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ เพื่อที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้น จำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการไม่ว่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ กระบวนการจัดการทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) การคัดแยกที่แหล่งกำเนิด 2) การคัดแยกด้วยมือหรือเครื่องจักร 3) การลดขนาด 4) การแยกขนาด 5) การผสม 6) การทำให้แห้งและการอัดแท่ง และ 7) การบรรจุและการเก็บ



ภาพประกอบ 39 รูปแสดงขั้นตอนในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ
ที่มา : (http://www.able.co.th : เว็บไซต์)

ขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับว่ามีการจัดการขยะอย่างไร ตัวอย่างเช่นถ้า ขยะได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จากแหล่งกำเนิดก่อนอยู่แล้ว ดังนั้นใน กระบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงก็อาจจะไม่จำเป็นที่จะมีขั้นตอนการคัดแยกโลหะหรือแก้วก็ได้ โดยทั่วไปขยะจะถูกนำมาคัดแยกส่วนที่นำไปกลับใช้ซ้ำได้ (เช่น โลหะ และแก้ว) และอินทรีย์สาร (เช่น เศษอาหาร) ที่ซึ่งมีความชื้นสูงส่วนประกอบนี้สามารถนำไปใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) ส่วนประกอบที่เหลือจะถูกนำไปลดขนาด ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กระดาษ เศษไม้ พลาสติก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรงในรูปของ Coarse RDF หรือนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการอัดแท่งเพื่อผลิตเป็น Densified RDF การเลือกพิจารณาว่าจะใช้เชื้อเพลิงขยะในแบบชนิดไหนขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของระบบการเผาไหม้ สถานที่ที่ตั้งระหว่างที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะและสถานที่ที่ใช้งาน

ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะ 1 ตัน ขึ้นอยู่กับการจัดเก็บขยะ กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะและคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะที่นำมาแปรรูป วิธีการจัดเก็บ และกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปคุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูปแล้ว ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณ ซัลเฟอร์และคลอไรด์ ตัวอย่างคุณลักษณะของขยะและ RDF ที่ได้จากการแปรรูปขยะ

ตารางที่ 11 แสดงคุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูป

Proximate Analysis			Element Analysis		
	MSW (wt%)	RDF (wt%)		MSW (wt%)	RDF (wt%)
Moisture	55.93	29.29	Carbon	51.33	50.87
Volatile	35.28	54.27	Hydrogen	6.77	6.68
Fixed Carbon	4.27	10.98	Oxygen	30.92	26.66
Ash	4.52	5.46	Nitrogen	1.42	1.56
Calorific Value					
LHV (kJ/kg)	9,736.17	14,805.25	HHV (kJ/kg)	21,894.33	21,306.77

จะเห็นได้ว่าความชื้นใน RDF ลดลงอย่างมาก (~50%) เมื่อเปรียบเทียบกับขยะก่อนที่จะนำมาแปรรูปส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นด้วย

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในรูปของพลังงาน มีดังต่อไปนี้

1) ใช้ในสถานที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ (On-site) โดยร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด หรือ Gasification หรือ Pyrolysis

2) ใช้ในสถานที่อื่นที่ต้องมีการขนส่ง (Off-site) โดยมีอุปกรณ์การที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือเตาเผาแบบฟลูอิดไดซเบิด หรือ gasification หรือ Pyrolysis

3) เผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ถ่านหิน หรือชีวมวล

4) เผาไหม้ในเตาผลิตปูนซีเมนต์

5) ใช้ร่วมกับถ่านหินหรือชีวมวลในกระบวนการ Gasification

2.4 การวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ เป็นการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจว่าการลงทุนในโครงการจะคุ้มค่าหรือไม่นั้นซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนสามารถทำโดยอาศัยเครื่องมือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันในรูปตัวเงินที่จ่ายออกไปในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ ณ อัตราคิดลดที่กำหนดโดยการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยจะต้องทราบข้อมูลกระแสเงินสดรับสุทธิรายปีและกระแสเงินสดจ่ายสุทธิรายปีตลอดระยะเวลาของโครงการ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^n} \quad (2.1)$$

โดยที่

NPV หมายถึง มูลค่าปัจจุบันสุทธิจากโครงการ

C0 หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ (Initial Cost)

Bt หมายถึง กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการในปีที่ t

t หมายถึง ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง t

n หมายถึง อายุของโครงการ

r หมายถึง อัตราคิดลดที่เหมาะสมหรืออัตราดอกเบี้ย

2.4.2 อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการนั่นเอง ในทางปฏิบัติ IRR นิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธี IRR นี้มีการแสดงค่าผลตอบแทนเป็นร้อยละ ซึ่งทำให้เข้าใจง่ายและมีความสะดวกในการเปรียบเทียบระหว่างโครงการต่างๆที่เป็นทางเลือกของการลงทุนที่มีอยู่ขณะนั้น

$$IRR = \frac{\sum CF_t}{(1+I)^n} \quad (2.2)$$

โดยที่

K หมายถึง อัตราผลตอบแทนคิดลดหรือ IRR นั่นเอง

I หมายถึง เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ

NPV หมายถึง มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ

CF_t หมายถึง กระแสเงินสดรับสุทธิ ณ ปีที่ t

N หมายถึง อายุโครงการ

2.4.3 ระยะคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินคร่าวๆและรวดเร็วเหมาะกับเม็ดเงินลงทุนจำนวนไม่มาก อย่างไรก็ตามการคำนวณระยะเวลาคืนทุนมีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน ทำให้อาจเกิดการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในบางกรณีอาจแก้ปัญหาโดยนำกระแสเงินสดมาปรับลดด้วยอัตราคิดลด ซึ่งเป็นการสะท้อนมูลค่าเงินตามเวลาก่อน แล้วค่อยนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (discount payback period : DPB) ระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน = เงินทุนที่ลงทุนทั้งหมด / ผลประโยชน์สุทธิที่จะได้รับในแต่ละเดือน (หรือปี)

(2.3)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สหรัฐ เสงี่ยมวิบูล (2563 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอยในเขตเมืองยโสธร The Cost-Benefit Analysis of Investment in Solid Waste Power Plant Project for Yasothon City นำขยะมาแปรรูปเป็นพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ และเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการลงทุน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบเทคโนโลยีที่ใช้ในการการจัดขยะเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าในการลงทุน จึงเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ ขนาด 1.5 MW ซึ่งมีกำลังการผลิต 5 ตันต่อชั่วโมง ต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง 269,702,250 บาท และค่าการดำเนินงานและบุคลากรตลอดอายุโครงการทั้งสิ้น 1,646,000 บาท และเทศบาลยโสธรจะมีรายได้หลังหักภาษีจากการจำหน่ายไฟฟ้าตลอดอายุโครงการทั้งสิ้น 753,840,000 บาท ทั้งนี้ได้ประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานจากขยะมูลฝอย พบว่ามีมูลค่าปัจจุบันของโครงการ (NPV) เท่ากับ

54,407,335 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 13 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 7 ปี แสดงว่าโครงการโรงสร้างไฟฟ้าพลังงานจากขยะมูลฝอย มีความน่าลงทุนในโครงการ

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ และสมพงศ์ โอทอง (2561 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอย กรณีศึกษา : พื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครนครศรีธรรมราช Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Management Case Study: Nakhon Si Thammarat Municipality Landfill การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยพื้นที่ฝังกลบของเทศบาลนคร นครศรีธรรมราช ซึ่งรองรับขยะจาก 5 อำเภอ ได้แก่ เมืองนครศรีธรรมราช ท่าศาลา ลานสกา พรหมคีรี และสิชล พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยทั้งหมด 1.78 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันขยะ ต่อปี มีการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งรวมขยะ การขนส่ง และแหล่งฝังกลบ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือน กระจกจากการหมักที่แหล่งรวมขยะ 1.22 ตันคาร์บอนต่อตันขยะต่อปีโดยอำเภอเมืองนครศรีธรรมราชมีการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกจากการหมักที่แหล่งรวมขยะมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 21.81 จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการหมักที่แหล่งรวมขยะ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเก็บรวบรวมและการขนส่งทั้งหมด 0.18 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันขยะต่อปี โดยอำเภอเมืองนครศรีธรรมราชมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 81.07 จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเก็บรวบรวมและการขนส่งทั้งหมด ปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบทั้งหมด 0.38 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันขยะต่อปี การจัดการของขยะมูลฝอย ของเทศบาลนครนครศรีธรรมราชปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงจากแหล่งรวมขยะและพื้นที่ฝังกลบขยะ

พสุวดี พลพิชัย และวิยุทธ์ จำรัสพันธุ์ (2561 : บทคัดย่อ) บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขสำคัญในการจัดการร่วมด้านการจัดการขยะ กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าขยะ เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต เป็นการศึกษาโดยเทียบเคียงจากแนวคิดของ Ostrom (1990) ที่ได้กำหนดกติกาในการจัดการร่วมด้านการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมไว้ทั้งหมด 8 ประการ ได้แก่ 1) ความชัดเจนของขอบเขตสิทธิชุมชน (Boundaries) 2) ความสอดคล้องกับกติกาชุมชน (Congruence) 3) การมีส่วนร่วมในการปรับปรุงกฎ กติกา (Collective-Choice Arrangements) 4) การสอดส่องที่มีประสิทธิภาพ (Effective Monitoring) 5) การลงโทษอย่างค่อยเป็นค่อยไป (Gradual Sanctions) 6) กลไกการจัดการความขัดแย้ง (Conflict Resolution Mechanisms) 7) การยอมรับในสิทธิของชุมชน (Recognition of Rights) 8) การจัดการทรัพยากรที่เชื่อมโยงกับกฎหมายของชุมชน (Law) รวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เจาะลึก (In - Depth Interview) จากตัวแทนภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ซึ่งทั้ง 3 ภาคส่วนล้วนเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการขยะในเทศบาลนครภูเก็ต

กล่าวคือภาครัฐเป็นผู้ดำเนินงานตามนโยบายการกำจัดขยะและสิ่งแวดล้อม ภาคเอกชนเป็นผู้ดำเนินการเผาขยะและผลิตกระแสไฟฟ้าตามสัญญาสัมปทาน และภาคประชาชนเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการแสดงความคิดเห็น ข้อเสนอแนะและข้อร้องเรียนที่กระทบต่อความเป็นอยู่ผลการศึกษาพบว่าการบริหารจัดการของโรงไฟฟ้าขยะ เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต ทั้ง 3 ภาคส่วน ได้แก่ ภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ได้ร่วมกันบริหารจัดการภายใต้เงื่อนไข 4 ประการ ได้แก่ 1) ความชัดเจนของขอบเขตสิทธิชุมชน (Boundaries) 2) การสอดส่องดูแลที่มีประสิทธิภาพ (Effective Monitoring) 3) การยอมรับในสิทธิของชุมชน (Recognition of Rights) 4) การจัดการทรัพยากรที่เชื่อมโยงและสอดคล้องกับกฎหมายชุมชนหรือระบบที่ใหญ่กว่า (Law) ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ให้ความสำคัญไปที่การสอดส่องดูแลที่มีประสิทธิภาพ โดยรับแจ้งเรื่องกลิ่นเป็นสำคัญ ทำให้การดำเนินงานละเลยการมีส่วนร่วมในเงื่อนไขด้านอื่น ดังนั้น ควรเปิดโอกาสให้ทุกภาคส่วน โดยเฉพาะภาคประชาชนมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น ไม่ว่าจะเป็นสถานที่ตั้งของโรงไฟฟ้าขยะ แนวทางในการบริหารจัดการ การร้องเรียนหรือแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าขยะที่กระทบต่อชุมชน การได้รับสิทธิประโยชน์ต่าง ๆ รวมถึงความปลอดภัยด้านสุขอนามัย

ดวงตา สราญรมย์ กรกมล สราญรมย์ และอภิรดี สราญรมย์ (2560 : บดคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาคุ้มค่าในการแปรรูปขยะอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพในพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรี FEASIBILITY STUDY IN PROCESSING ORGANIC WASTE TO BIOGASIN NONTHABURI MUNICIPALIT บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนสร้างระบบแปรรูปเศษอาหารเป็นก๊าซชีวภาพในพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรี เพื่อนำขยะจากชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เทศบาลนครนนทบุรีมีปริมาณขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหาร ทั้งสิ้น 320.00 ตันต่อวัน จากขยะทั้งหมด 488.66 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 65.48 ของปริมาณขยะทั้งหมด ทั้งนี้ได้ประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการสร้างระบบก๊าซชีวภาพบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ จากขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหาร พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) เท่ากับ 16,294,906 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 17.97 และมีระยะเวลาคืนทุน (DPB) เท่ากับ 6 ปี 2 เดือน แสดงว่าโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานจากขยะมีความน่าลงทุนในโครงการและเมื่อใช้เงินงบประมาณส่วนของเงินภาษีบำรุงท้องที่ของพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรี ในการลงทุนสร้างระบบแปรรูปก๊าซชีวภาพ 44,794,057 บาท จากที่เรียกเก็บภาษีทั้งสิ้น 243,107,198 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 0.18 ของเงินภาษีบำรุงท้องที่ที่เรียกเก็บได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยชิ้นนี้ผู้ศึกษาต้องการศึกษาความเป็นไปได้และความคุ้มทุนรวมถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานจากขยะมูลฝอย เนื่องจากมหาวิทยาลัยต้องเสียค่าไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก/ปี อีกทั้งยังต้องจ้างกำจัดขยะด้วย ผู้วิจัยจึงนำการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Reserch) มาศึกษา โดยใช้พื้นที่ของมหาวิทยาลัยภายในจังหวัดมหาสารคามเป็นกรณีศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการลงทุนได้พิจารณาและวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1) เก็บรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษา

2) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3) แนวทางและวิธีการศึกษา

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษา

ผู้ศึกษาใช้ข้อมูลจำนวนขยะ ประเภทมหาวิทยาลัยภายในจังหวัดมหาสารคาม และข้อมูลการใช้ไฟฟ้า เป็นกรณีศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งมหาวิทยาลัยมหาสารคามประกอบไปด้วยเขตพื้นที่ในเมือง (ม.เก่า) และเขตพื้นที่ขามเรียง (ม.ใหม่) รวมถึงโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม และคณะต่างๆ จำนวน 17 คณะ 2 วิทยาลัย โดยเฉลี่ยมีจำนวนอาจารย์ 1,244 คน จำนวนเจ้าหน้าที่ 2,270 คน และจำนวนนักศึกษา 43,305 คน รวมพื้นที่ทั้งหมด 3,960 ไร่

2. มหาวิทยาลัยมหาสารคามมีขยะมูลฝอย ณ ปี พ.ศ. 2562-2564 เฉลี่ยวันละ 4-5 ตัน ปัจจุบันการกำจัดขยะมูลฝอยของสถาบันอุดมศึกษา นำไปกำจัดที่เทศบาลเมืองมหาสารคามเฉลี่ย โดยปัจจุบันเทศบาลเมืองมหาสารคามปรับอัตราค่าธรรมเนียมกำจัดขยะจาก 400 บาท/ตัน เป็น 600 บาท/ตัน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2563 เป็นต้นไป จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะรายปีค่อนข้างสูง

3. มหาวิทยาลัยมหาสารคามมีค่าใช้ไฟฟ้า ณ ปี พ.ศ.2562-2564 เฉลี่ยเดือนละ 7,623,380.68 บาท ซึ่งทุกๆ 4 เดือน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ก็จะมีการปรับค่า Ft

ตารางที่ 12 งบประมาณในการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ลำดับ	ค่ากำจัดขยะประจำปีงบประมาณ 2562		ค่ากำจัดขยะประจำปีงบประมาณ 2563		ค่ากำจัดขยะประจำปีงบประมาณ 2564	
	ค่ากำจัด (บาท)	น้ำหนักขยะ (ตัน)	ค่ากำจัด (บาท)	น้ำหนักขยะ (ตัน)	ค่ากำจัด (บาท)	น้ำหนักขยะ (ตัน)
มกราคม	36,600	91.17	38,800	96.81	40,500	67.09
กุมภาพันธ์	38,800	96.96	55,200	91.98	44,700	74.34
มีนาคม	41,000	102.30	61,500	102.13	60,600	100.66
เมษายน	34,800	86.81	14,100	23.50	41,400	68.62
พฤษภาคม	44,000	109.83	24,300	40.25	41,100	68.26
มิถุนายน	23,600	58.66	23,400	38.94	43,200	71.85
กรกฎาคม	31,000	77.02	60,000	99.90	55,200	91.66
สิงหาคม	46,800	116.81	69,300	115.46	34,500	57.06
กันยายน	49,600	123.68	70,200	116.51	36,300	60.03
ตุลาคม	45,000	122.33	68,700	114,330	39.000	64.88
พฤศจิกายน	41,200	102.91	58,200	96.78	19,800	32.93
ธันวาคม	36,400	90.97	72,000	119.62	34,200	56.56
รวม	**468,800**	**1,179.45**	**615,700**	**1,056.21**	**490,500**	**813.94**

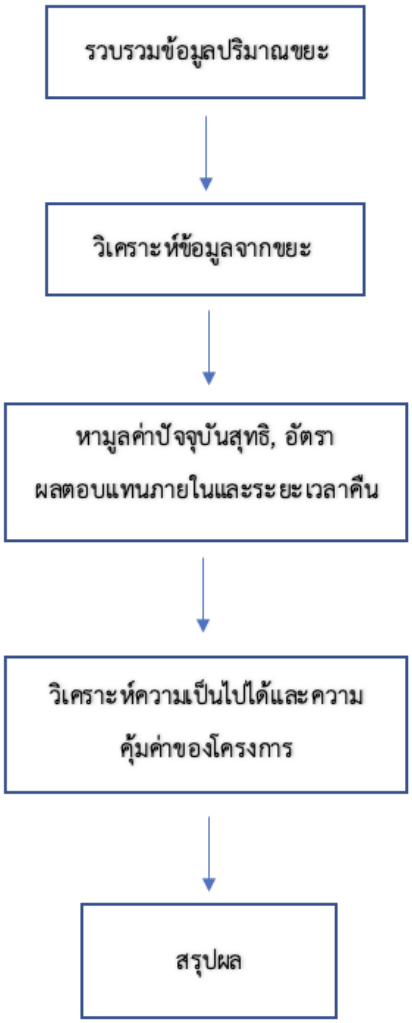
ตารางที่ 13 งบประมาณค่าการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ลำดับ	ค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2562		ค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2563		ค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2564	
	หน่วย	บาท	หน่วย	บาท	หน่วย	บาท
มกราคม	150,605.02	6,804,557.18	86,816.41	8,282,463.49	111,580.09	4,668,693.73
กุมภาพันธ์	150,193.11	8,756,964.56	90,589.90	7,715,354.49	105,568.68	4,579,790.69
มีนาคม	153,272.59	9,821,019.53	94,382.85	8,552,795.85	113,062.10	8,744,441.82
เมษายน	155,761.44	10,869,095.44	87,982.49	4,815,600.87	102,891.95	6,340,725.83
พฤษภาคม	161,432.68	10,226,317.40	96,143.73	5,035,449.50	113,985.78	5,696,178.58
มิถุนายน	152,207.95	8,928,329.13	96,443.41	6,064,444.75	114,593.66	6,568,045.58
กรกฎาคม	154,831.42	9,763,100.94	91,515.39	9,876,391.91	115,043.69	6,539,583.04
สิงหาคม	166,739.60	10,743,191.92	101,989.85	10,208,993.69	60,453.56	6,747,306.03
กันยายน	248,553.41	9,606,765.42	95,046.40	9,578,751.70	69,119.75	5,876,508.98
ตุลาคม	174,643.58	10,067,703.92	107,174.25	8,433,796.87	104,046.81	5,721,897.51
พฤศจิกายน	178,842.66	8,537,954.41	98,081.82	7,085,726.90	111,479.80	5,575,187.33
ธันวาคม	82,964.48	6,393,796.43	108,768.22	6,514,958.54	118,214.93	4,699,820.46
รวม	**1,930,047.94**	**110,518,796.28**	**1,154,934.72**	**92,164,728.56**	**1,240,040.80**	**71,758,179.58**

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยคือการคำนวณ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบโครงการ โดยวิเคราะห์เรื่องผลตอบแทนหรือต้นทุนหลักเพื่อเป็นทางเลือกประกอบการตัดสินใจเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ตัวชี้วัดสมการที่ 2.1 สมการที่ 2.2 และ สามการที่ 2.3

3.3 กรอบแนวคิดการทำวิจัย



ภาพประกอบ 40 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณขยะและทางเลือกในการจัดการขยะ

จากปริมาณขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562-2564 เกิดขึ้นเฉลี่ย 1,300 ตัน/ปี ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งแต่ก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 จนถึงช่วงที่เกิดการระบาด ซึ่งมีมาตรการจากทางภาครัฐให้เกิดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ ซึ่งมหาวิทยาลัยมีวิธีการกำจัดขยะอยู่ ลักษณะ คือ 1) การนำขยะไปรีไซเคิล ซึ่งขยะที่นำไปรีไซเคิลได้แก่ ประเภท แก้ว พลาสติก เศษจากวัสดุก่อสร้าง ผ่านกิจกรรมการคัดแยกขยะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ผ่านการรับซื้อของเก่า และกระบวนการจำหน่ายพัสดุ อื่นๆ 2) การนำขยะอินทรีย์ ประเภท เศษอาหารและผลไม้ เศษพืชต่างๆ นำไปทำน้ำหมักชีวภาพ นำไปทำเป็นปุ๋ยจากพืช ไปเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตเช่นไส้เดือนและได้ผลิตภัณฑ์เป็นปุ๋ยจากมูลไส้เดือน สำหรับบำรุงดินเพื่อการเกษตรและจัดจำหน่าย 3) การฝังกลบ โดยจะนำเศษขยะจากส่วนที่รีไซเคิลและจากขยะอินทรีย์ ไปสู่กระบวนการจ้างฝังกลบ

4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน

ภายใต้โครงการใช้องค์ประกอบของกระทรวงพลังงานในการคำนวณหาค่าความร้อนของขยะมูลฝอยที่ใช้ในการออกแบบระบบกำจัดขยะมูลฝอย โดยสูตรของ ดูลอง (Dulong's Formula) จะได้คุณสมบัติทางความร้อนโดยเป็นค่ากลาง

ตารางที่ 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	**สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (%)**						
	C	H	O	N	S	Ash	Total
เศษอาหาร	48	6.40	32.60	2.60	0.40	10	100
กระดาษ	43.50	6	44	0.30	0.30	6	100
กระดาษลัง	44	5.90	44.60	0.30	0.30	5	100
พลาสติก	60	7.20	22.80	-	-	10	100
ผ้า	55	6.60	31.20	4.60	0.10	2.50	100
ยาง	78	10	-	2	-	10	100
เศษหญ้า	47.80	6	38	3.40	0.30	4.50	100
เศษไม้	49.50	6	42.70	0.20	0.10	1.50	100
แก้ว	0.50	0.10	0.40	0.10	-	98	100

ตารางที่ 14 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (%)						
	C	H	O	N	S	Ash	Total
อลูมิเนียม	4.80	0.60	4.50	0.10	-	90	100
โลหะ	4.80	0.60	4.50	0.10	-	90.50	100
ขยะอันตราย	26.30	3	2	0.50	0.20	68.00	100
อื่นๆ	26.30	3	2	0.50	0.20	68.00	100

คุณสมบัติที่สำคัญของชีวมวลต่อหนึ่งหน่วยโดยน้ำหนักประกอบไปด้วย C H O N S เถ้า (Ash) และ ความชื้น (moisture) ซึ่งถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้ที่สนใจในการนำชีวมวลมาแปลงเป็นพลังงาน เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยในการเลือกกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงาน และช่วยบ่งบอกความยากง่ายของการนำชีวมวลที่มีมาแปลงเป็นพลังงานในแต่ละกระบวนการ เพื่อเลือกกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานให้เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้พลังงานชีวมวลต้องมีการทดสอบคุณสมบัติตามค่ามาตรฐาน เพื่อเป็นมาตรฐานในการผลิต-ส่งออกและการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลสาหรับอนาคต โดยคุณสมบัติที่สำคัญของชีวมวล ได้แก่ ค่าความชื้นในชีวมวล, ค่าความร้อน, สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และอื่นๆ, สัดส่วนเถ้า, สัดส่วนโลหะอัลคาไล, อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน และ ขนาดและความหนาแน่นรวม

ในที่นี้จะกล่าวถึงค่าความร้อนและสัดส่วนของโลหะอัลคาไล ค่าความร้อนในชีวมวลคืออะไร ค่าความร้อนเป็นปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วยอากาศ (Combustion) ของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั่วไปค่าความร้อนจะแสดงในรูปของปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยค่าความร้อนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบได้แก่ ค่าความร้อนสูงสุด (higher heating value, HHV) หรือ Gross calorific value คือค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งหมด โดยปรกติแล้วในเชื้อเพลิงจะมีน้ำปนอยู่ด้วย และเมื่อเผาไหม้ น้ำส่วนนี้จะรวมกับน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของไฮโดรเจน (Hydrogen) ซึ่งจะมีความร้อนส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในรูปความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) หรือ Net Calorific Value คือค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยหักค่าความร้อนสำหรับการกลั่นตัวของไอน้ำออกไป ซึ่งค่าความชื้นจะมีผลโดยตรงกับค่า LHV นี้

4.3 ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, HHV)

ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher Heating Value: HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มากำจัดน้ำ ออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้ คือค่าความร้อนขั้นสูงต่อกิโลกรัม ค่า HHV ของขยะมูลฝอย สามารถหาได้จากการคำนวณจากองค์ประกอบของธาตุ หลัก ซึ่งได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และเถ้า โดยคำนวณได้จากสมการ

$$HHV = 80.60*C + 339.10*(H - O/8.00) + 5.56*N + 22.20*S \text{ Kcal/kg} \quad (2.4)$$

เมื่อ C, H, O, S, N เป็น % โดยน้ำหนักแห้ง ดูรายละเอียดได้จากตารางที่ 14

4.4 ค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value, LHV)

ค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value: LHV) หมายถึงการนำชีวมวลในสภาพปกติ (ที่มีความชื้น) หนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือค่าความร้อนขั้นต่ำต่อกิโลกรัม หรือสามารถคำนวณค่า LHV ได้ จากสมการ

$$LHV = HHV - 5.72*(9.00*H + M) \text{ Kcal/kg} \quad (2.5)$$

เมื่อ H = % ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และ M = % ของความชื้นในชีวมวล

4.5 เกณฑ์การพิจารณา

ขยะมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับกำจัดด้วยการเผา หรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ควรมีค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value: LHV) เฉลี่ยประมาณ 1,670 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม (Kcal/kg) และต้องไม่ต่ำกว่า 1,440 Kcal/kg ในทุกฤดูกาล

4.6 การคำนวณหาค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, HHV)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากมหาวิทยาลัยมหาสารคามมีองค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ดังนี้ เศษอาหาร 46% กระดาษ 9% พลาสติก 25% แก้ว 10% โลหะ 3% ผ้า 2% ไม้/ใบไม้ 3% มูลฝอยอันตราย 1% อื่นๆ 1% และขยะโดยรวมมีความชื้น 50% นำมาประกอบกับข้อมูลจากตารางที่ 29 ผลการคำนวณจะได้ว่า

เศษอาหารมี % ธาตุคาร์บอน (C) = 46/2*48/100 = 11.04 %

เศษอาหารมี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 46/2*6.40/100 =1.47 %

เศษอาหารมี % ธาตุออกซิเจน (O) = 46/2*32.60/100 = 7.50 %

เศษอาหารมี % ธาตุไนโตรเจน (N) = 46/2*2.60/100 = 0.60 %

เศษอาหารมี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 46/2*0.40/100 = 0.10 %

เศษอาหารมี % ขี้เถ้า (Ash) = 46/2*10/100 = 2.30 %

จะได้ค่า

HHV ของเศษอาหาร = (80.60*11.04 + 339.10* (1.47 – 7.50/8.00) + 5.56*0.60 + 22.20*0.10) Kcal/kg

= 1,075 Kcal/kg

กระดาษมี % ธาตุคาร์บอน (C) = 9/2*43.50/100 = 1.95 %

กระดาษมี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 9/2*6/100 =0.27 %

กระดาษมี % ธาตุออกซิเจน (O) = 9/2*44/100 = 1.98 %

กระดาษมี % ธาตุไนโตรเจน (N) = 9/2*0.30/100 = 0.01 %

กระดาษมี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 9/2*0.30/100 = 0.01 %

กระดาษมี % ขี้เถ้า (Ash) = 9/2*6/100 = 0.27 %

จะได้ค่า

HHV ของกระดาษ = (80.60*1.95 + 339.10* (0.27 – 1.98/8.00) + 5.56*0.01 + 22.20*0.01) Kcal/kg

= 165 Kcal/kg

พลาสติกมี % ธาตุคาร์บอน (C) = 25/2*60/100 = 7.50 %

พลาสติกมี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 25/2*7.20/100 =0.90 %

พลาสติกมี % ธาตุออกซิเจน (O) = 25/2*22.80/100 = 2.85 %

พลาสติกมี % ธาตุไนโตรเจน (N) = 25/2*0 = 0 %

พลาสติกมี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 25/2*0 = 0 %

พลาสติกมี % ขี้เถ้า (Ash) = 25/2*10/100 = 1.25 %

จะได้ค่า

HHV ของพลาสติก = (80.60*7.50 + 339.10* (0.90 – 2.85/8.00) + 5.56*0 + 22.20*0) Kcal/kg

= 789 Kcal/kg

แก้วมี % ธาตุคาร์บอน (C) = 10/2*0.50/100 = 0.025 %

แก้วมี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 10/2*0.10/100 =0.005 %

แก้วมี % ธาตุออกซิเจน (O) = 10/2*0.40/100 = 0.02 %

แก้วมี % ธาตุไนโตรเจน (N) = 10/2*0.10/100 = 0.005 %

แก้วมี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 10/2*0 = 0 %

แก้วมี % ขี้เถ้า (Ash) = 10/2*98/100 = 4.9 %

จะได้ค่า

HHV ของแก้ว = (80.60*0.025 + 339.10* (0.005 – 0.02/8.00) + 5.56*0.005 + 22.20*0) Kcal/kg

= 3 Kcal/kg

โลหะมี % ธาตุคาร์บอน (C) = 3/2*4.80/100 = 0.072 %

โลหะมี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 3/2*0.60/100 =0.009 %

โลหะมี % ธาตุออกซิเจน (O) = 3/2*4.50/100 = 0.0675 %

โลหะมี % ธาตุไนโตรเจน (N) = 3/2*0.10/100 = 0.0015 %

โลหะมี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 3/2*0 = 0 %

โลหะมี % ขี้เถ้า (Ash) = 3/2*90.50/100 = 1.3575 %

จะได้ค่า

HHV ของโลหะ = (80.60*0.072 + 339.10* (0.009 – 0.0675/8.00) + 5.56*0.0015 + 22.20*0) Kcal/kg

= 6 Kcal/kg

ผ้ามี % ธาตุคาร์บอน (C) = 2/2*55/100 = 0.55 %

ผ้ามี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 2/2*6.60/100 = 0.066 %

ผ้ามี % ธาตุออกซิเจน (O) = 2/2*31.20/100 = 0.312 %

ผ้ามี % ธาตุไนโตรเจน (N) = 2/2*4.60/100 = 0.046 %

ผ้ามี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 2/2*0.10/100 = 0.001 %

ผ้ามี % ขี้เถ้า (Ash) = 2/2*2.50/100 = 0.025 %

จะได้ค่า

HHV ของผ้า = (80.60*0.55 + 339.10* (0.066 – 0.312/8.00) + 5.56*0.046 + 22.20*0.001) Kcal/kg

= 54 Kcal/kg

เศษหญ้า,ใบไม้มี % ธาตุคาร์บอน (C) = 3/2*47.80/100 = 0.717%

เศษหญ้า,ใบไม้มี % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 3/2*6/100 = 0.09 %

เศษหญ้า,ใบไม้มี % ธาตุออกซิเจน (O) = 3/2*38/100 = 0.57 %

เศษหญ้า,ใบไม้% ธาตุไนโตรเจน (N) = 3/2*3.40/100 = 0.051 %

เศษหญ้า,ใบไม้มี % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 3/2*0.30/100 = 0.0045 %

เศษหญ้า,ใบไม้มี % ขี้เถ้า (Ash) = 3/2*4.50/100 = 0.0675 %

จะได้ค่า

HHV ของเศษหญ้า,ใบไม้ = (80.60*0.717 + 339.10* (0.09 – 0.57/8.00) + 5.56*0.051 + 22.20*0.0045) Kcal/kg

= 65 Kcal/kg

มูลฝอยอันตราย % ธาตุคาร์บอน (C) = 1/2*26.30/100 = 0.131 %

มูลฝอยอันตราย % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 1/2*3/100 = 0.015 %

มูลฝอยอันตราย % ธาตุออกซิเจน (O) = 1/2*2/100 = 0.01 %

มูลฝอยอันตราย % ธาตุไนโตรเจน (N) = 1/2*0.50/100 = 0.0025 %

มูลฝอยอันตราย % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 1/2*0.20/100 = 0.001 %

มูลฝอยอันตราย % ขี้เถ้า (Ash) = 1/2*68/100 = 0.34 %

จะได้ค่า

HHV ของมูลฝอยอันตราย = (80.60*0.131 + 339.10* (0.015 – 0.01/8.00) + 5.56*0.0015 + 22.20*0.001) Kcal/kg

= 15 Kcal/kg

ขยะอื่นๆ % ธาตุคาร์บอน (C) = 1/2*26.30/100 = 0.131 %

ขยะอื่นๆ % ธาตุไฮโดรเจน (H) = 1/2*3/100 = 0.015 %

ขยะอื่นๆ % ธาตุออกซิเจน (O) = 1/2*2/100 = 0.01 %

ขยะอื่นๆ % ธาตุไนโตรเจน (N) = 1/2*0.50/100 = 0.0025 %

ขยะอื่นๆ % ธาตุซัลเฟอร์ (S) = 1/2*0.20/100 = 0.001 %

ขยะอื่นๆ % ขี้เถ้า (Ash) = 1/2*68/100 = 0.34 %

จะได้ค่า

HHV ของมูลฝอยอันตราย = (80.60*0.131 + 339.10* (0.015 – 0.01/8.00) + 5.56*0.0015 + 22.20*0.001) Kcal/kg

= 15 Kcal/kg

ตารางที่ 15 ค่า HHV ที่ได้จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	**สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (%)**						
	C	**H**	**O**	**N**	**S**	**Ash**	**Total**
เศษอาหาร	11.04	1.47	7.50	0.60	0.10	2.30	1,075
กระดาษ	1.95	0.27	1.98	0.01	0.01	0.27	165
พลาสติก	7.5	0.90	2.85	-	-	1.25	789
แก้ว	0.03	0.01	0.02	0.01	-	4.90	3
โลหะ	0.07	0.01	0.07	-	-	1.36	6
ผ้า	0.55	0.07	0.31	0.05	-	0.03	54
เศษใบไม้, หญ้า	0.72	0.09	0.57	0.05	-	0.07	65
ขยะอันตราย	0.13	0.01	0.01	-	-	0.34	15
อื่นๆ	0.13	0.01	0.01	-	-	0.34	15
รวม	**22.12**	**2.84**	**13.32**	**0.72**	**0.11**	**10.86**	**2,187**

4.7 การคำนวณค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value, LHV)

ค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower Heating Value: LHV) จะได้จากสมการดังต่อไปนี้

เมื่อ H = % ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และ M = % ของความชื้นในชีวมวล

LHV = HHV – 5.72*(9.00*H + 50) Kcal/kg

LHV = 2,187 – 5.72*(9.00*2.84 + 50) Kcal/kg

= 1,754 Kcal/kg

ขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีค่าเท่ากับ 1,754 Kcal/kg ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนขั้นต่ำ ซึ่งแสดงว่ามหาวิทยาลัยมหาสารคามมีความเหมาะสมที่จะกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเผา

4.8 เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าด้วยวิธีการเผา

การสร้างโรงไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย มีขั้นตอนการนำขยะเข้าสู่กระบวนการดังนี้

1. เมื่อรถขนส่งขยะมูลฝอยเข้าสู่โรงงานกำจัดขยะมูลฝอย ขยะมูลฝอยก็จะถูกชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูลโดยเครื่องชั่งน้ำหนัก

2. เมื่อขยะถูกชั่งน้ำหนักแล้ว รถขนส่งขยะก็จะขนส่งขยะไปยังอาคารรับขยะมูลฝอย เพื่อเทขยะมูลฝอยลงไปในบ่อรับขยะมูลฝอย

3. ขยะมูลฝอยจะถูกเทลงไปยังบ่อรับขยะมูลฝอยซึ่งเป็นบ่อคอนกรีต สามารถรับขยะและพักเก็บขยะมูลฝอยไว้ได้ 5-7 วัน

4. ขยะจะถูกคลุกเคล้า เคลื่อนย้าย และป้อนเข้าสู่เตาเผาโดยใช้เครนคีบขยะที่ติดตั้งไว้เหนือบ่อพักขยะ เพื่อให้ขยะที่ป้อนเข้าสู่เตามีความสม่ำเสมอและเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

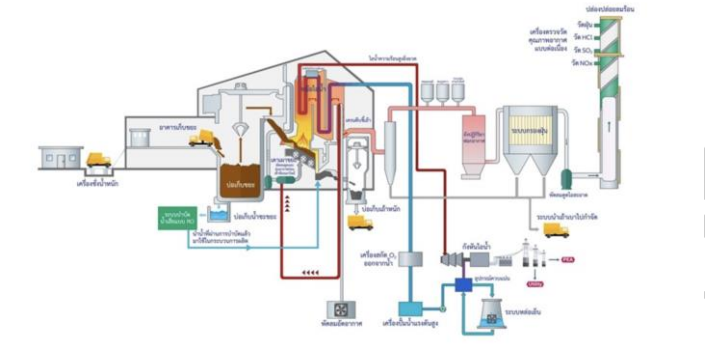
5. ขยะจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางกรวยรับขยะซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับช่องป้อนขยะ ซึ่งที่ด้านล่างของช่องป้อนจะมีเครื่องผลักขยะ (PusherFeeder) คอยผลักขยะเข้าสู่ตะกรับเผาขยะ

6. ตะกรับเผาขยะถือว่าเป็นอุปกรณ์หลักของโรงเตาเผาขยะเพื่อผลิตพลังงาน โดยขยะจะถูกเผาไหม้บนตะกรับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

7. หม้อไอน้ำจะทำหน้าที่ดูดซึมความร้อนจากการเผาไหม้ขยะไว้และเปลี่ยนให้กลายเป็นไอน้ำ

8. ก๊าซไอเสียซึ่งถูกลดอุณหภูมิแล้วจากหม้อไอน้ำ จะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดก๊าซไอเสีย

9. เถ้าขยะที่ได้จากการเผา จะถูกนำไปบำบัดต่อไป



ภาพประกอบ 41 รูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ
ที่มา : (บริษัท แอ๊บโซลูท คลีน เอ็นเนอร์จี้ จำกัด (มหาชน))

ตารางที่ 16 ขนาดของระบบผลิตพลังงาน และกำลังการผลิตไฟฟ้า

ค่าความร้อนของขยะเข้าเตาเผา (Kcal/kg)	ปริมาณขยะเข้าสู่เตาเผา (ตัน/วัน)	ไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (MW)
1700	500	9.35
1800	500	9.75
2300	500	9.75
1700	60-100	1.5
1800	60-100	1.5
2300	60-100	1.5

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าประมาณขยะของมหาวิทยาลัยมหาสารคามเฉลี่ยอยู่ที่ ประมาณ 5 ตัน/วัน และจากตารางที่ 31 จะเห็นว่า เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับมหาวิทยาลัยมหาสารคามควรเป็นเตาเผาแบบตะกรับ ปริมาณกำลังผลิตการไฟฟ้าที่ 1.5 MW โดยมีกำลังการผลิต 5/ชั่วโมง

4.9 ต้นทุนของการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ

ต้นทุนของการก่อสร้างโรงไฟฟ้าก็มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก ในการตัดสินใจที่จะลงทุน เนื่องจากไม่ใช่แค่มูลค่าต้นทุนในการก่อสร้าง ยังมีส่วนของการบำบัดของเสีย ต้นทุนงานระบบเพฉาะ อีกทั้งยังมีต้นทุนบุคลากรอีกด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 17 ต้นทุนงานก่อสร้างภายนอกอาคาร

ลำดับ	รายการ	ปริมาณงาน	หน่วย	อัตราต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1	งานถมดินและปรับหน้าดิน	40,000.00	ลบ.ม.	110.00	4,400,000.00
2	รบบประปาโครงการ	1.00	งาน	1,000,000.00	1,000,000.00
3	ระบบสุขาภิบาล	35,000.00	ตร.ม.	60.00	2,100,000.00
4	ระบบไฟฟ้าและแสงสว่างและสื่อสารบริเวณ	10,000.00	ตร.ม.	60.00	600,000.00
5	งานถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	7,000.00	ตร.ม.	250.00	1,750,000.00
6	งานแท่นเครื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.00	งาน	40,000.00	40,000.00
7	บ่อเก็บน้ำดิบ	4,000.00	ตร.ม.	100.00	400,000.00
8	งานรั้ว (ลวดหนาม)	1,000.00	เมตร	120.00	120,000.00
9	งานรั้ว (ตาข่าย)	200.00	เมตร	500.00	100,000.00
10	งานจัดภูมิทัศน์	2,000.00	ตร.ม.	120.00	240,000.00
รวม					**10,750,000.00**

ตารางที่ 18 ต้นทุนงานก่อสร้างอาคาร

ลำดับ	รายการ	ปริมาณงาน	หน่วย	อัตราต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1	อาคารป้อมยาม	10.00	ตร.ม	5,000.00	50,000.00
2	อาคารสำนักงาน	300.00	ตร.ม	10,000.00	1,500,000.00
3	อาคารเครื่องชั่ง	78.00	ตร.ม	10,000.00	800,000.00
4	อาคารซ่อมบำรุง	150.00	ตร.ม	5,000.00	750,000.00
5	อาคารรับขยะและควบคุมเตาเผา	1,500.00	ตร.ม	10,000.00	15,000,000.00
6	อาคารพักขยะ	1,500.00	ตร.ม	10,000.00	15,000,000.00
7	อาคารเตาเผา	1,500.00	ตร.ม	15,000.00	15,000,000.00
8	อาคารเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำ	1,200.00	ตร.ม	5,000.00	6,000,000.00
รวม					**54,100,000.00**

ตารางที่ 19 ต้นทุนงานก่อสร้างบ่อฝังกลบเถ้าและระบบบำบัดน้ำเสีย

ลำดับ	รายการ	ปริมาณงาน	หน่วย	อัตราต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1	บ่อฝังกลบเถ้าที่1	15.00	ไร่	400,000.00	6,000,000.00
2	บ่อฝังกลบเถ้าที่2	15.00	ไร่	400,000.00	6,000,000.00
3	งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย	3.00	ไร่	300,000.00	900,000.00
4	งานก่อสร้างบ่อตรวจติดตามคุณภาพน้ำ	3.00	บ่อ	25,000.00	90,000.00
รวม					**12,990,000.00**

ตารางที่ 20 ต้นทุนงานระบบเฉพาะ

ลำดับ	รายการ	ปริมาณงาน	หน่วย	อัตราต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1	ระบบเตาเผาเพื่อผลิตพลังงาน	1.00	ชุด	220,325,000.00	220,325,000.00
2	อุปกรณ์ระบบประปาโครงการ	1.00	งาน	300,000.00	300,000.00
3	อุปกรณ์ระบบช่างน้ำหนัก	1.00	ชุด	500,000.00	500,000.00
รวม					**221,125,000.00**

ตารางที่ 21 ต้นทุนค่าจ้างบุคลากรรายเดือน

ลำดับ	รายการ	ปริมาณงาน	หน่วย	อัตราต่อหน่วย	จำนวนเงิน
1	ผู้จัดการโรงงาน	1.00	คน	90,000.00	90,000.00
2	ผู้จัดการฝ่ายธุรการ	1.00	คน	80,000.00	80,000.00
3	ผู้จัดการปฏิบัติการ	1.00	คน	80,000.00	80,000.00
4	วิศวกรเครื่องกล	1.00	คน	19,500.00	19,500.00
5	วิศวกรไฟฟ้าและเครื่องมือ	1.00	คน	19,500.00	19,500.00
6	เจ้าหน้าที่ชีวอนามัยและความปลอดภัย	1.00	คน	19,500.00	19,500.00
7	ธุรการสำนักงาน	2.00	คน	18,000.00	36,000.00
8	เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย	3.00	คน	15,000.00	45,000.00
9	เจ้าหน้าที่ความสะอาด	1.00	คน	15,000.00	15,000.00
10	platform observer	3.00	คน	19,500.00	58,500.00
11	เจ้าหน้าที่ขับรถตักขี้เถ้า	6.00	คน	15,000.00	90,000.00
12	หัวหน้ากะ	3.00	คน	23,110.00	69,330.00
13	เจ้าหน้าที่ควบคุมเครน	3.00	คน	15,000.00	45,000.00
14	เจ้าหน้าที่ควบคุมเตา/หม้อต้มน้ำ	6.00	คน	15,000.00	90,000.00
15	Mechanical Equipment Management staff	3.00	คน	23,110.00	69,330.00
16	E& I Equipment staff	3.00	คน	23,110.00	69,330.00
17	เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุง	2.00	คน	13,800.00	27,600.00
18	พนักงานคัดแยกขยะ	6.00	คน	15,000.00	90,000.00
รวม					**1,013,590.00**

อิงจากราคา คณะกรรมการบริหารพนักงานราชการสำนักงาน ก.พ.

4.10 รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า

การคำนวณรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

1) การคำนวณรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าแบบช่วงเวลาของการใช้

2) การคำนวณรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff (FiT)

แบบที่ 1 การคำนวณรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าจะคิดแบบช่วงเวลาของการใช้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ราคาจำหน่ายไฟฟ้าในช่วง On Peak = 4.1839 บาท/หน่วย

ราคาจำหน่ายไฟฟ้าในช่วง Off Peak = 2.6037 บาท/หน่วย

ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) : เวลา 9:00 – 22:00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล

ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Off Peak) : เวลา 22:00 – 9:00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล

ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Off Peak) : เวลา 00.00 – 24:00 น. วันเสาร์-วันอาทิตย์, วันแรงงานแห่งชาติ, วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

ตารางที่ 22 ชั่วโมงการทำงาน (08.00 - 19.00 น.)

วันทำการ	จำนวนวัน	ชั่วโมง/วัน		ชั่วโมง/ปี		บาทxชั่วโมง/ปีxหน่วย	
		On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak
จ-ศ	248	11	1	2,728	248	11,413	645
ส-อ	52	-	12	-	624	0	1,624
รวม	**300**	**-**	**-**		**3,352**		**13,682**

จากตารางที่ 37 อัตรารับซื้อไฟฟ้า = ค่าไฟพื้นฐาน (TOU) + ค่าไฟแปรผัน (FT : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เสนอผลการประมาณค่า FT ขายปลีกสำหรับการเรียกเก็บในเดือน กันยายน - ธันวาคม 2565 เท่ากับ 0.9343 บาทต่อหน่วย)

เฉลี่ยการจำหน่ายไฟฟ้า = 13,682 / 3,352

= 4.08 บาทต่อหน่วย

สรุปค่าเฉลี่ยการจำหน่ายไฟฟ้า (รวมค่า FT) = 4.08 + 0.9343

= 5.01 บาทต่อหน่วย

แบบที่ 2 การคำนวณรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff (FiT)

จากตารางที่ 37 กลุ่มพลังงานชีวภาพ (ขยะ) กำลังการผลิตติดตั้งมากว่า 1-3 MW จะได้อัตรารับซื้อไฟฟ้าดังต่อไปนี้

อัตรารับซื้อไฟฟ้าในปีที่ 1-8 = FiTF +FiTV +FiT Premium

= 3.13 + 6.34 + 0.70

= 10.17 บาทต่อหน่วย

อัตรารับซื้อไฟฟ้าในปีที่ 9-20 = FiTF +FiTV

= 3.13 + 6.34

= 9.47 บาทต่อหน่วย

จากการศึกษา จะกำหนดให้มีการเดินระบบอยู่ที่ 1 ชั่วโมง/วัน โดยที่กำหนดให้ระยะเวลา 1 ปี ทำงาน 300 วัน และมีอายุตลอดโครงการ 20 ปี

4.11 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อหาความคุ้มค่าของการลงทุนในโครงการนั้น จะต้องใช้ค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), และระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการทั้งแบบผลิตใช้เอง และแบบขาย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 23 ค่าใช้จ่ายของการสร้างโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5 MW

รายจ่าย	มูลค่า	หน่วย
ต้นทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ (หมวดงานอาคาร เครื่องจักร และงานระบบ) x Factor F (1.1952)	357,322,968.00	บาท
ต้นทุนในการดำเนินงาน (บุคลากร)	12,163,080.00	บาท/ปี
ต้นทุนในการบำรุงรักษาทุก 5 ปี (2% ของมูลค่าโครงการ)	7,146,459.36	บาท/5 ปี

ตารางที่ 24 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีผลิตไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัย

ปี	ลดค่าใช้ไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
1	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
2	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
3	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
4	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
5	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
6	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	-16,539,939.36
7	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
8	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
9	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
10	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
11	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	-16,539,939.36

ตารางที่ 24 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีผลิตไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัย (ต่อ)

ปี	ลดค่าใช้ไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
12	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
13	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
14	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
15	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
16	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	-16,539,939.36
17	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
18	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
19	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00
20	2,160,000.00	609,600.00	12,163,080.00	-	-	-9,393,480.00

ตารางที่ 25 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีผลิตไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะชุมชน

ปี	ลดค่าใช้ไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
1	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
2	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
3	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
4	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
5	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
6	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	20,650,460.64
7	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
8	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
9	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
10	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
11	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	20,650,460.64

ตารางที่ 25 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีผลิตไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะชุมชน (ต่อ)

ปี	ลดค่าใช้ไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
12	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
13	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
14	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
15	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
16	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	20,650,460.64
17	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
18	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
19	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00
20	25,920,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	27,796,920.00

ตารางที่ 26 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีขายไฟฟ้าด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัย

ปี	รายได้ขายไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
1	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
2	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
3	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
4	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
5	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
6	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	ได้รับการยกเว้น	-14,123,439.36
7	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
8	4,576,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	-6,976,980.00
9	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
10	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
11	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	-14,438,439.36
12	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
13	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00

ตารางที่ 26 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีขายไฟฟ้าด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัย (ต่อ)

ปี	รายได้ขายไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
14	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
15	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
16	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	-	-14,438,439.36
17	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
18	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
19	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00
20	4,261,500.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	-	-7,291,980.00

ตารางที่ 27 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีขายไฟฟ้าด้วยขยะชุมชน

ปี	รายได้ขายไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
1	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
2	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
3	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
4	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
5	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
6	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	ได้รับการยกเว้น	49,648,460.64
7	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
8	54,918,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	ได้รับการยกเว้น	56,794,920.00
9	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,602,984.00	42,411,936.00
10	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,602,984.00	42,411,936.00
11	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	9,173,692.12	36,694,768.52
12	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,602,984.00	42,411,936.00
13	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,602,984.00	42,411,936.00
14	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,602,984.00	42,411,936.00
15	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,602,984.00	42,411,936.00
16	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	7,146,459.36	9,173,692.12	36,694,768.52

ตารางที่ 27 รายได้สุทธิจากโรงไฟฟ้าจากขยะ ขนาด 1.5MW กรณีขายไฟฟ้าด้วยขยะชุมชน (ต่อ)

ปี	รายได้ขายไฟฟ้า	รายได้จากค่ากำจัดขยะ	รายจ่ายบุคลากร	รายจ่ายซ่อมบำรุง	ภาษี 20 %	มูลค่าคงเหลือ
17	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,146,802.00	42,868,118.00
18	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,146,802.00	42,868,118.00
19	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,146,802.00	42,868,118.00
20	51,138,000.00	14,040,000.00	12,163,080.00	-	10,146,802.00	42,868,118.00

จากตารางที่ 24-27 จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยและการผลิตไฟฟ้าด้วยขยะชุมชน ส่วนกรณีที่ 2 คือ การผลิตไฟฟ้าขายด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยและการผลิตไฟฟ้าขายด้วยขยะชุมชน ซึ่งรายได้จะมี 2 ส่วนคือ รายได้ที่มากจากการกำจัดขยะ และส่วนของรายได้ในการผลิตที่นำไปลดค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 28 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตใช้เองด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ข้อมูล	มูลค่า	หน่วย
ต้นทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ	354,435,690	บาท
ต้นทุนการดำเนินงาน ค่าจ้างบุคลากร	12,163,080.00	บาท/ปี
ต้นทุนการบำรุงรักษาทุก 5 ปี (2% ของต้นทุนก่อสร้าง)	7,146,459.36	บาท/ครั้ง
รายได้จากการผลิตไฟฟ้า ปีที่ 1-20 (รายได้สุทธิ)	-209,308,978.08	บาท
รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะ (600 บาท/ตัน)	609,600.00	บาท/ปี
กำลังการผลิต (ปริมาณที่ผลิตได้จากปริมาณขยะต่อวัน)	450,000	หน่วย/ปี
ปริมาณไฟฟ้าที่มหาลัยต้องการใช้	1,491,739.57	หน่วย/ปี
รายจ่ายค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย	81,168,846.88	บาท/ปี
รายได้ทั้งหมดของมหาวิทยาลัย (คิดค่ากำจัดขยะ และค่าไฟฟ้า)	-276,125,824.96	บาท/ปี
อายุโครงการ	20	ปี
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	-442,501,738.71	บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	- 96.00 %	เปอร์เซ็นต์
ระยะเวลาคืนทุน (PB)	ไม่คืนทุน	ปี

จากตารางที่ 28 จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่ากางลงทุนในโครงการก่อสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากขยะ กรณีผลิตไฟใช้เองภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขนาด 1.5 MW โดยคิดอัตราลด 10% พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ - 442,501,738.71 บาท อัตรา

ผลตอบแทนภายใน (IRR) – 96.00 % ระยะเวลาคืนทุน มากกว่าอายุโครงการ ซึ่งมีอายุโครงการเพียง 20 ปี

ตารางที่ 29 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตใช้เองด้วยขยะชุมชน

ข้อมูล	มูลค่า	หน่วย
ต้นทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ	354,435,690	บาท
ต้นทุนการดำเนินงาน ค่าจ้างบุคลากร	12,163,080.00	บาท/ปี
ต้นทุนการบำรุงรักษาทุก 5 ปี (2% ของต้นทุนก่อสร้าง)	7,146,459.36	บาท/ครั้ง
รายได้จากการผลิตไฟฟ้า ปีที่ 1-20 (รายได้สุทธิ)	-209,308,978.08	บาท
รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะ (600 บาท/ตัน)	14,040,000.00	บาท/ปี
กำลังการผลิต (ปริมาณที่ผลิตได้จากปริมาณขยะต่อวัน)	5,400,000	หน่วย/ปี
ปริมาณไฟฟ้าที่มหาลัยต้องการใช้	1,491,739.57	หน่วย/ปี
รายจ่ายค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย	81,168,846.88	บาท/ปี
รายได้ทั้งหมดของมหาวิทยาลัย (คิดค่ากำจัดขยะ และค่าไฟฟ้า)	- 40,403,895.78	บาท/ปี
อายุโครงการ	20	ปี
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	- 125,878,898.55	บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	4 %	เปอร์เซ็นต์
ระยะเวลาคืนทุน (PB)	25	ปี

จากตารางที่ 29 จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่ากางลงทุนในโครงการก่อสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากขยะ กรณีผลิตไฟใช้เองภายในมหาวิทยาลัยด้วยขยะชุมชน ขนาด 1.5 MW โดยคิดอัตราลด 10% พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ - 125,878,898.55 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 4 % ระยะเวลาคืนทุน 25 ปี ซึ่งมากกว่าอายุโครงการ

ตารางที่ 30 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตขายด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ข้อมูล	มูลค่า	หน่วย
ต้นทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ	354,435,690	บาท
ต้นทุนการดำเนินงาน ค่าจ้างบุคลากร	12,163,080.00	บาท/ปี
ต้นทุนการบำรุงรักษาทุก 5 ปี (2% ของต้นทุนก่อสร้าง)	7,146,459.36	บาท/ครั้ง
รายได้จากการผลิตไฟฟ้า ปีที่ 1-8 (รายได้สุทธิ)	429,932,900.64	บาท
รายได้จากการผลิตไฟฟ้า ปีที่ 9-20 (รายได้สุทธิ)	520,073,045.02	บาท
รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะ (600 บาท/ตัน)	609,600.00	บาท/ปี
กำลังการผลิต	450,000	หน่วย/ปี

ตารางที่ 30 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตขายด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ต่อ)

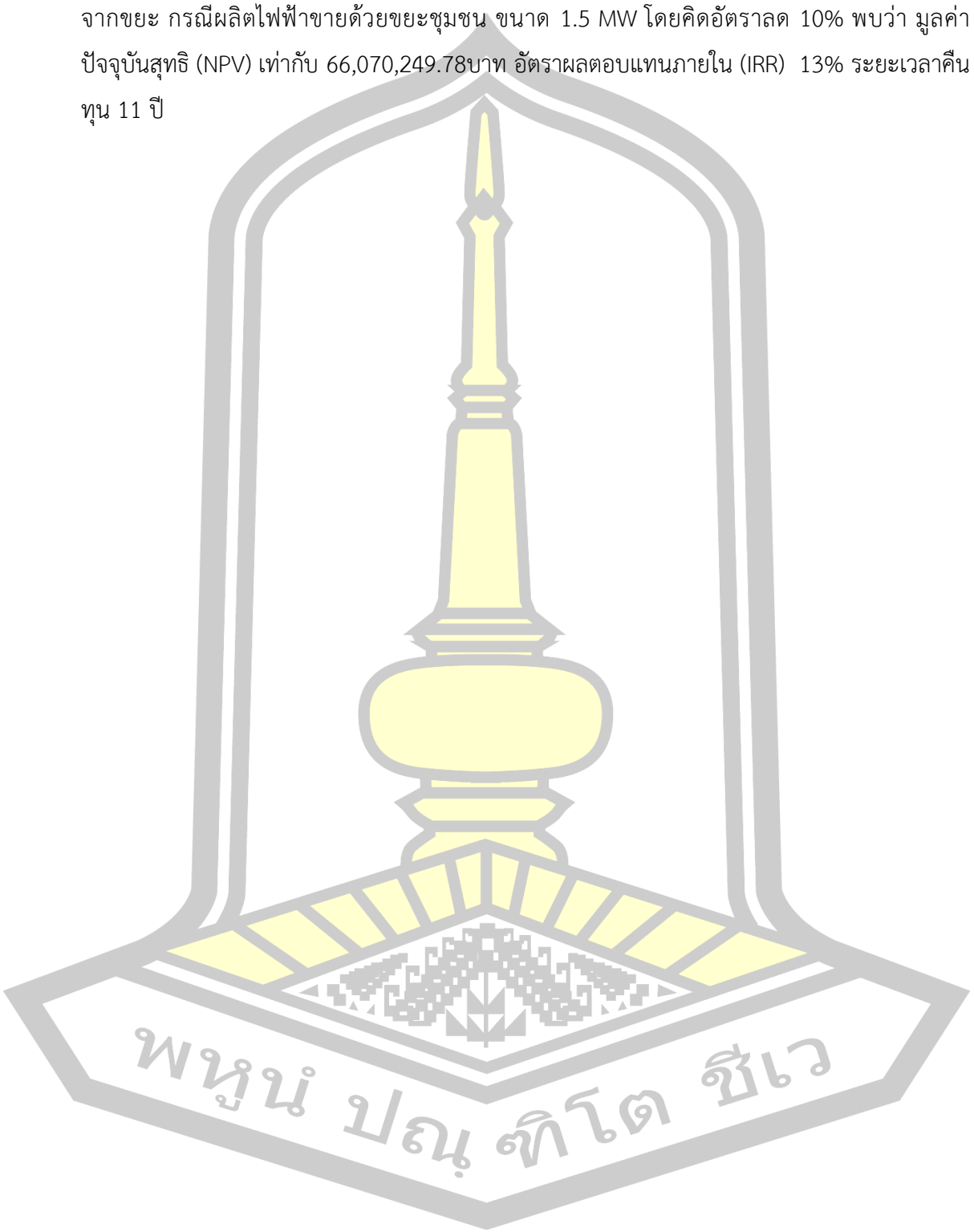
ข้อมูล	มูลค่า	หน่วย
ปริมาณไฟฟ้าที่มหาลัยต้องการใช้	1,491,739.57	หน่วย/ปี
รายจ่ายค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย	81,168,846.88	บาท/ปี
รายได้ทั้งหมดของมหาวิทยาลัย (คิดค่ากำจัดขยะ และค่าไฟฟ้า)	- 88,797,195.78	บาท/ปี
อายุโครงการ	20	ปี
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	- 422,929,982.80	บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	-96.00 %	เปอร์เซ็นต์
ระยะเวลาคืนทุน (PB)	ไม่คืนทุน	ปี

จากตารางที่ 30 จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่ากางลงทุนในโครงการก่อสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากขยะ กรณีผลิตไฟฟ้าขายด้วยขยะภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขนาด 1.5 MW โดยคิดอัตราลด 10% พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ - 422,929,982.80บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) -96.00 % ระยะเวลาคืนทุนมากกว่าอายุโครงการ ซึ่งมีอายุโครงการเพียง 20 ปี

ตารางที่ 31 สรุปความคุ้มค่าทางเศษรฐศาสตร์ กรณีผลิตขายด้วยขยะชุมชน

ข้อมูล	มูลค่า	หน่วย
ต้นทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ	354,435,690	บาท
ต้นทุนการดำเนินงาน ค่าจ้างบุคลากร	12,163,080.00	บาท/ปี
ต้นทุนการบำรุงรักษาทุก 5 ปี (2% ของต้นทุนก่อสร้าง)	7,146,459.36	บาท/ครั้ง
รายได้จากการผลิตไฟฟ้า ปีที่ 1-8 (รายได้สุทธิ)	447,212,900.64	บาท
รายได้จากการผลิตไฟฟ้า ปีที่ 9-20 (รายได้สุทธิ)	520,073,045.02	บาท
รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะ (600 บาท/ตัน)	14,040,000.00	บาท/ปี
กำลังการผลิต	5,400,000	หน่วย/ปี
ปริมาณไฟฟ้าที่มหาลัยต้องการใช้	1,491,739.57	หน่วย/ปี
รายจ่ายค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย	81,168,846.88	บาท/ปี
รายได้ทั้งหมดของมหาวิทยาลัย (คิดค่ากำจัดขยะ และค่าไฟฟ้า)	-19,801,520.60	บาท/ปี
อายุโครงการ	20	ปี
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	66,070,249.78	บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	13%	เปอร์เซ็นต์
ระยะเวลาคืนทุน (PB)	11	ปี

จากตารางที่ 31 จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่ากางลงทุนในโครงการก่อสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากขยะ กรณีผลิตไฟฟ้าขายด้วยขยะชุมชน ขนาด 1.5 MW โดยคิดอัตราลด 10% พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 66,070,249.78บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 13% ระยะเวลาคืนทุน 11 ปี



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการก่อสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะ การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากขยะในสถานศึกษา กรณีศึกษามหาวิทยาลัยมหาสาคาม เป็นการนำข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกโดยเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบไปด้วยเขตพื้นที่ในเมือง (ม.เก่า) และเขตพื้นที่ขามเรียง (ม.ใหม่) รวมถึงโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม และคณะต่างๆ จำนวน 17 คณะ 2 วิทยาลัย โดยเฉลี่ยมีจำนวนอาจารย์ 1,244 คน จำนวนเจ้าหน้าที่ 2,270 คน และจำนวนนักศึกษา 43,305 คน รวมพื้นที่ทั้งหมด 3,960 ไร่ ขยะโดยเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 5 ตัน ได้นำไปกำจัดที่เทศบาลเมืองมหาสารคามด้วยวิธีฝังกลบ โดยปัจจุบันเทศบาลเมืองมหาสารคามปรับอัตราค่าธรรมเนียมกำจัดขยะจาก 400 บาท/ตัน เป็น 600 บาท/ตัน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2563 เป็นต้นไป จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะรายปีค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นทุกปี รวมถึงมหาวิทยาลัยมหาสารคามมีค่าใช้ไฟฟ้า ประมาณ 81,168,846.88 บาท/ปี ทำให้มหาวิทยาลัยต้องเสียเงินเป็นจำนวนมาก

การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าในกางลงทุนโรงผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะ การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากขยะในสถานศึกษา ภายใต้เงื่อนไขอายุโครงการ 20 ปี มีอัตราดอกเบี้ย 10% กรณีแรกคือผลิตไฟฟ้าใช้เองภายในมหาวิทยาลัยกำลังการผลิตอยู่ที่ 5ตัน/ชั่วโมง พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NET PRESENT VALUE : NPV) อยู่ที่ -442,501,738.71 (IRR) – 96.00 % ระยะคืนทุน (PB) มากกว่าอายุของโครงการ ซึ่งหากจะนำเฉพาะขยะภายในของมหาวิทยาลัยมาผลิตกระแสไฟฟ้าก็จะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน กรณีที่ 2 คือการผลิตขาย ได้รับการยกเว้นภาษีตั้งแต่เริ่มเดินระบบ จนถึงปีที่ 8 พบว่า โดยการคิดอัตราจำหน่ายไฟฟ้าแบบ FiT จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NET PRESENT VALUE : NPV) อยู่ที่ 66,070,249.78บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 13% ระยะคืนทุน (PB) 12 ปี แสดงว่าหากเป็นกรณีผลิตไฟฟ้าขายจะคุ้มค่ากับการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าจากพลังงานขยะ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคามพบว่า ปัจจัยหลักที่สำคัญในการสร้างโรงไฟฟ้าจากพลังงานขยะคือปริมาณขยะในพื้นที่ ซึ่งในมหาวิทยาลัยยังมีปริมาณขยะไม่เพียงพอกับการสร้างโรงไฟฟ้า ปัจจุบันขยะภายในมหาวิทยาลัยมีประมาณ 5 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยมาก หากจะผลิตเองควรใช้โรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถเผาได้ประมาณ 1 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งเตาเผาขนาดเล็กขนาดต่ำกว่า 10 ตัน/วัน ไม่จำเป็นต้องมีระบบกำจัดสารพิษ แต่อาจจะทำให้เกิดความร้อนไม่เพียงพอกับการสร้างความร้อน หรือควรที่จะให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการกำจัดขยะเพื่อความคุ้มค่าในการลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้า อีกทั้งปริมาณขยะภายในมหาวิทยาลัยใช้เวลาในการเผาเพียงแค่ 1 ชั่วโมงเท่านั้น การจ้างบุคคลากรสำหรับโรงไฟฟ้าไม่คุ้มค่าอาจจะต้องใช้บุคคลภายในมหาวิทยาลัยในการดำเนินการ และจ้างเฉพาะตำแหน่งที่มีความรู้เฉพาะทางโดยอิงจากค่าจ้างของหน่วยงานราชการ

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2550). ถ่านหิน เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. บริษัท กราฟิคคัล จำกัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. จำนวนพิมพ์ : 25,000 เล่ม.

พิสิษฐ์ ทองดีเลิศ. (2016). การจัดหาแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรอง เพื่อความมั่นคงของชาติ. รัฏฐาภิรักษ์, 58(3), 93-103.

ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ. (2020). วิกฤตการณ์ด้านพลังงานสู่พลังงานทางเลือกเพื่อความมั่นคงทางพลังงานของไทย. สืบค้นจาก http://hdl.handle.net/123456789/1885

พราว พรรณ, อาสา สรรพ กิจ, สุรศักดิ์, & นุ่ม มี ศรี. (2019). การบูรณาการจัดการความรู้การใช้ประโยชน์จากชีวมวล โดยการนำมาแปรสภาพเป็นพลังงานทดแทนในชุมชนอย่างยั่งยืน กรณีศึกษาอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. Chiang Mai Rajabhat University.

Nortoualee, L. (2564) การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์. Doctoral dissertation, Maejo University.

Insee, N., & Khiawlueng, T. (2022). กระบวนการจัดการขยะมูลฝอย แบบมีส่วนร่วมของชุมชน อย่างยั่งยืน. Journal of Modern Learning Development, 7(11), 454-467.

นาฎกมล จำรัสกาญจน์. (2557). การลดขยะทางการแพทย์ ด้วยแนวทางขอ เทคโนโลยีสะอาด (Doctoral dissertation). สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พระครูใบฎีกา สมชาย ฐานวโร (ทิพย์ บุญทอง), ไพรัตน์ ฉิมหาด, & เดโช แขน้ำแก้ว. (2021). แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือน. วารสารวิชาการสังคมมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช ISSN: 2774-1141 (Online), 11(2), 80-96.

จิตรา รู้กิจการพานิช & นุชนาถ สุขสมัย. (2020). การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น สำหรับการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนและเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะ. Engineering Journal of Research and Development, 31(1), 155-175.

สมจิตรติยา ศรีสุวรรณ, วุฒิพล หัวเมืองแก้ว, สมศักดิ์ สุขวงศ์, & โกมล แพรกทอง. (2012). การวิเคราะห์ทางการเงินของการทำวนเกษตร ในระดับครัวเรือน ภายใต้เครือข่ายวนเกษตรภูพาน จังหวัดสกลนคร. วารสารวนศาสตร์ไทย, 31(3), 55-64.

Srinakorn, P., & Tantikamton, K. (2019). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากทางปาล์มน้ำมัน. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. (2013). การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ในจังหวัดลำปาง กรณีศึกษา: อำเภอ แม่ทะ. Industry Technology Lampang Rajabhat University, 6(2), 35-45.

Phakphoom, N., Liplap, P., Hinsui, T., & Arjharn, W. (2022). ผลการใช้เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ร่วมกับชีวมวลต่อสมรรถนะ และการปลดปล่อยมลพิษของเตาเผาภาชนะเซรามิก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 28(2).

ฐิติกร กิจจนศิริ. (2014). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังสำหรับเป็นเชื้อเพลิงเสริมในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น. Doctoral dissertation, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศศิประภา เกตุพิมล, คฑาพล ปิ่นพัฒนพงศ์, ฐนียา รังสีสุริยะชัย, & ภาวัต น้ำใส. (2020). การศึกษาเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ เมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้ง ที่ 25, 25, ENV08-ENV08.

ณัฐวรรณ สืบนันตา. (2564). การศึกษากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหลือทิ้ง และการประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้า. Doctoral dissertation, Maejo University.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (2559). โครงการศึกษาและจัดทำข้อมูลการลงทุนด้าน พลังงานทดแทนและ อนุรักษ์พลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (2558). การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incineration).โครงการศึกษาและจัดทำข้อมูลการลงทุนด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (2558). อัตรารับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ FiT ที่ประกาศใช้ในปี 2558.กระทรวงพลังงาน.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2022). 6 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะ. 15 พฤศจิกายน 2656. สืบค้นจาก https://erdi.cmu.ac.th/?p=1578

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย. (2020). พลังงานชีวมวล. 22 ธันวาคม 2565. สืบค้นจาก http://reca.or.th/biomass/

สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2020). ความหมาย/ประเภท/องค์ประกอบและสาเหตุของขยะมูลฝอย. 20 ธันวาคม 2565. สืบค้นจาก https://adeq.or.th/ขยะมูลฝอยคืออะไร/

สหรัฐ เสงี่ยมวิบูล. (2564). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูล ฝอยในเขตเมืองยโสธร. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและ คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อริยะ มาลัย. (2565). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอยในเขตจังหวัดพังงา. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและ คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ดวงตา สราญรมย์. (2560). การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนโครงการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานจากขยะ กรณีศึกษา เทศบาลนครนนทบุรี. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 11(2) : 203-215

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ณุกานดา ธัญญเจริญ
วันเกิด	18 พฤษภาคม 2540
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลแพทย์ปัญญา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	732 หมู่.5 ต.นาหนองทุ่ม อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น 40290
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2555-2557 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนชุมแพศึกษา พ.ศ.2558-2562 ปริญญาวิศกรรมศาสตรบัณฑิต(วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2564-ปัจจุบัน ปริญญาวิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว