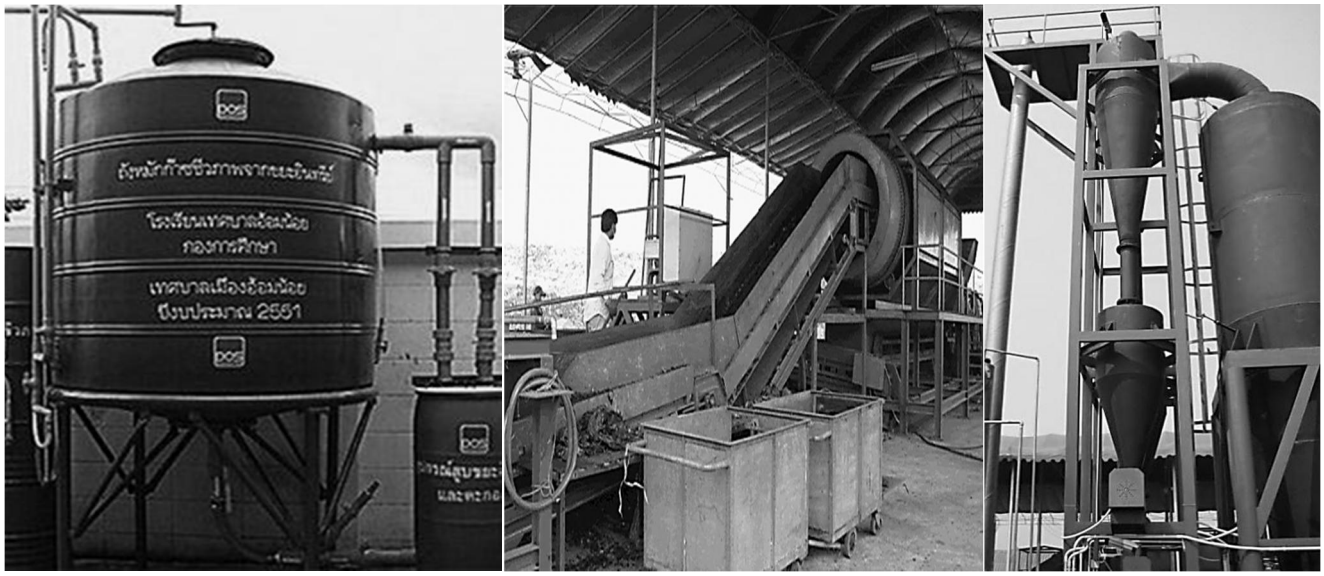
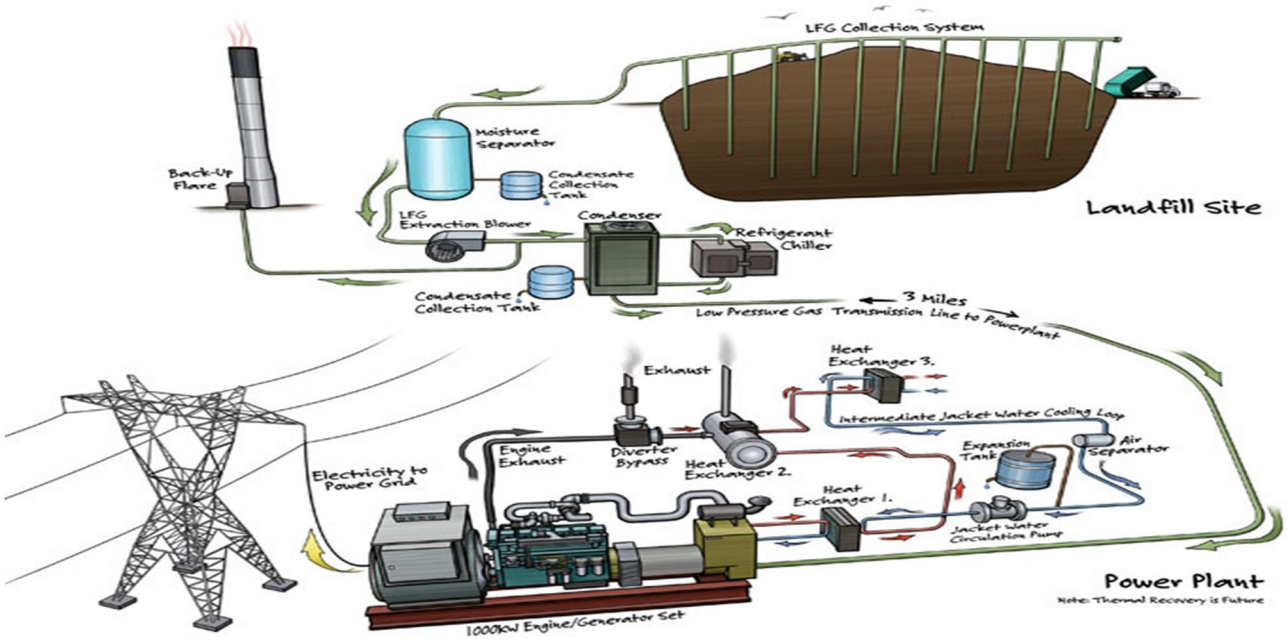
## คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 6



# พลังงาน

# ขยะ



# คู่มือการพัฒนาและการลงทุน
# ผลิตพลังงานทดแทน
# ชุดที่ 6

# พลังงาน
# ขยะ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

# คำนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปรรูป ชานอ้อย ใยและกะลาปาล์ม แกลบ และซังข้าวโพด เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม ส่วนกากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลังใช้ผลิตเอทานอล และน้ำมันปาล์ม และสเตรินใช้ผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเหล่านี้ เพื่อจะได้เป็นตลาดทางเลือกสำหรับผลิตผลการเกษตรไทย ซึ่งจะสามารถช่วยดูดซับผลผลิตทางการเกษตรและช่วยทำให้ราคาผลผลิตการเกษตรมีเสถียรภาพ และภาครัฐไม่ต้องจัดสรรงบประมาณมาประกันราคาพืชผลผลิตดังกล่าว ประกอบกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความคุ้มทุนทางเศรษฐกิจหรือเกือบคุ้มทุนหากได้รับการสนับสนุนอีกเพียงเล็กน้อยจากภาครัฐบาล นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีแหล่งพลังงานจากธรรมชาติที่จัดเป็นพลังงานหมุนเวียน เช่น ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก พลังลม และพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสามารถใช้ผลิตพลังงานทดแทนได้

กระทรวงพลังงาน (พน.) ได้กำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี โดยมอบหมายให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักประสานงานกับส่วนผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ให้ดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการตามกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถดำเนินการพัฒนาพลังงานทดแทนด้านต่างๆ ให้สามารถผลิตไฟฟ้ารวมสะสมถึงปี 2565 จำนวน 5,604 เมกะวัตต์ ประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 500 เมกะวัตต์ พลังงานลม 800 เมกะวัตต์ พลังน้ำ 324 เมกะวัตต์ พลังงานชีวมวล 3,700 เมกะวัตต์ ก๊าซชีวภาพ 120 เมกะวัตต์ ขยะ 160 เมกะวัตต์ นอกจากนั้นยังให้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ เอทานอลและไบโอดีเซล รวมทั้งพลังงานความร้อนและก๊าซ NGV ซึ่งก่อให้เกิดสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้ 20% ของปริมาณการใช้บริโภคของประเทศในปี 2565 การตั้งเป้าหมายสู่ความสำเร็จของการผลิตพลังงานทดแทนให้ได้ปริมาณดังกล่าว จำเป็นต้องสร้างแนวทางแผนพัฒนาในแต่ละเทคโนโลยีโดยเฉพาะกับภาคเอกชน ซึ่งเป็นแนวทางหลักที่สำคัญในการขับเคลื่อนสู่ความสำเร็จได้ ต้องมีความเด่นชัดในนโยบายเพื่อให้ปรากฏต่อการลงทุนจากภาคเอกชนและสร้างผลประโยชน์ต่อการดำเนินการ

สำหรับคู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนที่ได้จัดทำขึ้นนี้จะเป็นคู่มือที่จะช่วยให้ผู้สนใจทราบถึงเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทน รวมทั้งมีความเข้าใจในแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทน มาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล อาทิ การพิจารณาถึงศักยภาพ โอกาสและความสามารถในการจัดหาแหล่งพลังงานหรือวัตถุดิบ ลักษณะการทำงานทางเทคนิค และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่โดยทั่วไป ข้อดีและข้อเสียเฉพาะของแต่ละเทคโนโลยี การจัดหาแหล่งเงินทุน กฎระเบียบและมาตรการ

ส่งเสริมสนับสนุนต่างๆ ของภาครัฐ ขั้นตอนปฏิบัติในการติดต่อหน่วยงานต่างๆซึ่งจะเป็นเอกสารที่จะช่วยสร้างความเข้าใจในลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนชนิดต่างๆ ทั้งการผลิตไฟฟ้า ความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ไปยังกลุ่มเป้าหมายตามความต้องการของกระทรวงพลังงานต่อไป

คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนที่จัดทำขึ้นนี้ จะแบ่งออกเป็น 8 ชุด ได้แก่ ลม แสงอาทิตย์ น้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ เอทานอล ไบโอดีเซล โดยฉบับนี้จะเป็น **ชุดที่ 6 เรื่องคู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (พลังงานจากขยะ)** ซึ่ง พพ. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะช่วยให้ผู้สนใจมีความเข้าใจในแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทนมาใช้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ สร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ รวมทั้งลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะส่งผลดีต่อประเทศชาติโดยรวม อย่างยั่งยืนต่อไป

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

# สารบัญ


หน้า

**บทที่ 1 บทนำ** 1

1.1 ศักยภาพพลังงานขยะของประเทศไทย 2

1.2 ประเภทเทคโนโลยีของขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน 4

**บทที่ 2 การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน** 7

2.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา 7

2.1.1 เทคโนโลยีเตาเผาแบบ Moving Grate 9

2.1.2 เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) 10

2.1.3 เทคโนโลยีเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) 11

2.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน 12

2.2.1 Updraft Gasifier 13

2.2.2 Downdraft Gasifier 13

2.2.3 Fluid bed Gasifier 14

2.2.4 Circulating Fluid Bed Gasifier 15

2.2.5 Entrained Bed Gasifier 15

2.2.6 Comparison of Pressurized and Atmospheric Operation 15

2.3 การนำพลังงานกลับมาใช้ (Energy Recovery) 16

**บทที่ 3 การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ** 19

3.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน 19

3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชน 20

3.1.2 รูปแบบของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ 20

3.1.3 การบำบัดขั้นหลังระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 28

3.1.4 การใช้พลังงานจากขยะมูลฝอยโดยใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 30

3.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน 32

3.2.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล 33

3.2.2 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบ Bioreactor Landfill 41

3.2.3 สรุปการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ 48

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

**บทที่ 4 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ** 51

4.1 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ 51

4.2 การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ 52

4.3 ปริมาณและคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะ 53

4.4 วิธีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ 53

**บทที่ 5 ความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีมาใช้สำหรับประเทศไทย** 54

5.1 การสรุปเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน 56

5.1.1 Incineration 57

5.1.2 Gasification 59

5.1.3 Anaerobic Digestion 61

5.1.4 Landfill Gas to Energy 64

5.1.5 Refuse Derived Fuel (RDF) 68

**บทที่ 6 ปัจจัยและขั้นตอนการพิจารณาการลงทุน** 70

6.1 ปัจจัยและตัวแปรสภาพปัญหาการจัดการขยะขององค์กรท้องถิ่น 71

6.2 ขั้นตอนที่สำคัญโดยการพิจารณาโครงการผลิตพลังงานจากพลังงานขยะ 72

6.3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการเงิน 75

6.4 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความเหมาะสมการลงทุน 77

6.5 การประเมินต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ 77

**บทที่ 7 การส่งเสริมการพัฒนาโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะของประเทศไทย** 83

7.1 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder Cost) 84

7.2 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน 85

7.3 โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (ESCO FUND) 87

7.4 กลไกลการพัฒนาที่สะอาด (CDM) 90

7.5 โครงการส่งเสริมการลงทุน โดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) 93

**บทที่ 8 ขั้นตอนการขอใบอนุญาตต่างๆ** 95

**เอกสารอ้างอิง** 103

# บทที่ 1

# บทนำ

## พลังงานขยะ

ปัญหาขยะมูลฝอยของประเทศไทยได้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างรวดเร็วตามการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคของประชาชน ในขณะที่หน่วยงานรับผิดชอบในการกำจัดขยะส่วนใหญ่ยังขาดความพร้อมทั้งทางด้านงบประมาณ เครื่องมืออุปกรณ์ บุคลากร และสถานที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะ จึงทำให้การกำจัดขยะส่วนใหญ่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน

ขยะชุมชนเป็นปัญหาที่หน่วยงานและภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการแก้ไข หากไม่มีการจัดการที่ดีและเป็นระบบจะส่งผลกระทบทั้งในด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน ดังนั้น การนำขยะชุมชนมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปไฟฟ้าหรือความร้อนเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาในการจัดการสิ่งแวดล้อม และในสภาวะที่ประเทศไทยมีความจำเป็นจะต้องแสวงหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดน้อยลงและมีราคาสูงขึ้น ขยะชุมชนเป็นชีวมวลชนิดหนึ่งซึ่งมีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อผลิตพลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณมากและไม่ต้องซื้อหา ในขณะที่ปัจจุบันมีการนำมาขยะมาใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงานน้อยมาก ดังนั้นกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงได้จัดทำเอกสารคู่มือการผลิตพลังงานจากขยะ เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้สนใจในการนำขยะชุมชนมาบำบัดและผลิตพลังงาน

การผลิตพลังงานจากขยะจะเกิดขึ้นได้นั้น ต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยแนวทางการดำเนินการของภาครัฐจะช่วยอำนวยความสะดวกในการให้สิทธิประโยชน์และมาตรการต่างๆ เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นการลงทุนการผลิตพลังงานจากขยะ ที่ผ่านมาจะยังไม่เห็นผลเด่นชัดเนื่องจากการผลิตพลังงานจากขยะส่วนใหญ่เกิดจากภาครัฐเป็นผู้ดำเนินการเองหรือให้การสนับสนุนงบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินโครงการ

## 1.1 ศักยภาพพลังงานขยะของประเทศไทย

### 1) แหล่งพลังงานขยะ

จากข้อมูลสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2551 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แบ่งขยะตามแหล่งที่มา 3 แหล่งได้แก่ (1) ขยะในเขต กทม. (2) ขยะในเขตเทศบาลและเมืองพัทยา และ (3) ขยะนอกเขตเทศบาล พบว่ามีปริมาณขยะเกิดขึ้น 15.03 ล้านตัน หรือ 41,064 ตัน/วัน เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ประมาณ 0.26 ล้านตัน หรือร้อยละ 1.82 ขยะมูลฝอยทั่วประเทศได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ประมาณ 15,540 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 38 และกำจัดอย่างไม่ถูกต้องร้อยละ 62 ดังแสดงในตารางที่ 1-1 และ 1-2 ตามลำดับ

**ตารางที่ 1-1 แสดงข้อมูลปริมาณขยะชุมชน ปี พ.ศ. 2548-2551**

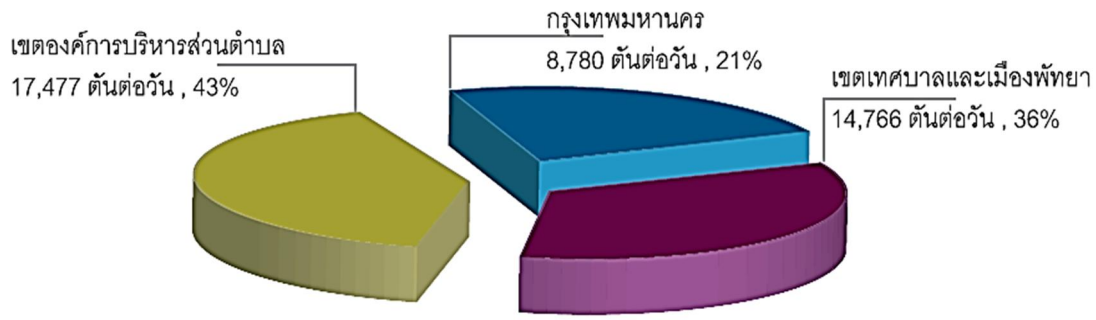
| พื้นที่ | ปริมาณขยะชุมชน (ตัน/วัน) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ปี 2548 | ปี 2549 | ปี 2550 | ปี 2551 |
| 1. กรุงเทพมหานคร | 8,291 | 8,379 | 8,532 | 8,780 |
| 2. เขตเทศบาลรวมเมืองพัทยา | 12,635 | 12,912 | 13,600 | 14,915 |
| 2.1 ภาคกลางและภาคตะวันออก | 5,499 | 5,619 | | |
| 2.2 ภาคเหนือ | 2,148 | 2,195 | | |
| 2.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ | 2,906 | 2,971 | | |
| 2.4 ภาคใต้ | 2,082 | 2,128 | | |
| 3. นอกเขตเทศบาล | 18,295 | 18,295 | 18,200 | 17,369 |
| **รวมทั้งประเทศ** | **39,221** | **39,988** | **40,322** | **41,064** |

ที่มา รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2551 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

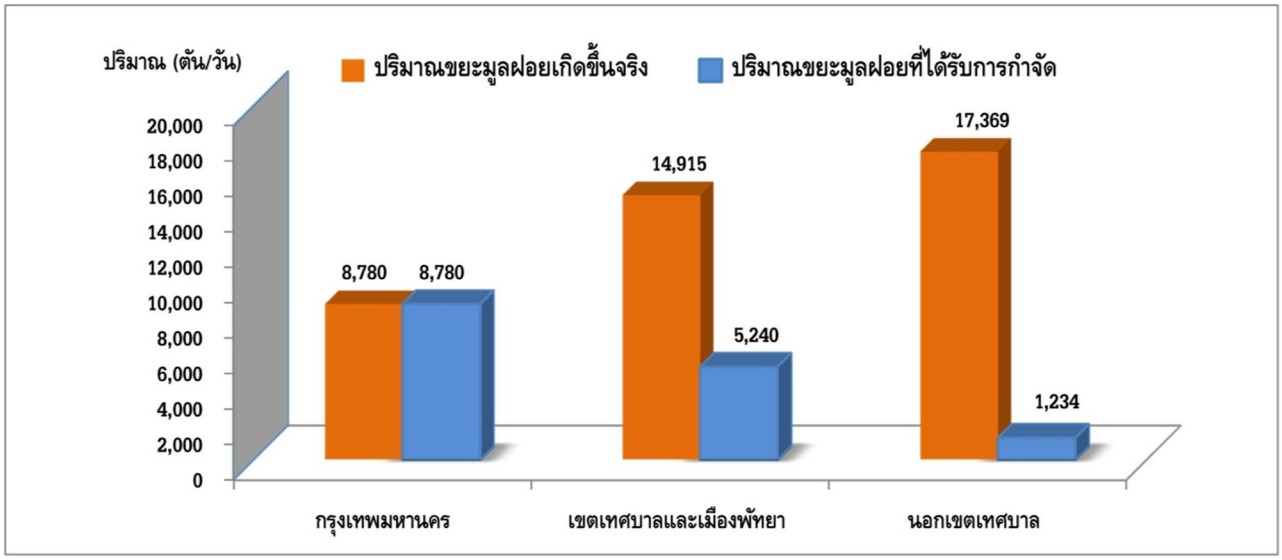
**ตารางที่ 1-2 แสดงข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการในปี 2551**

| พื้นที่ | ปริมาณขยะมูลฝอย (วัน/ตัน) | |
|---|---|---|
| | เกิดขึ้น | กำจัด |
| กรุงเทพมหานคร | 8,780 | 8,780 |
| เขตเทศบาลและเมืองพัทยา (1,277 แห่ง) | 14,915 | 5,240 |
| นอกเขตเทศบาล (6,500 แห่ง) | 17,369 | 1,234 |
| **รวม** | **41,064** | **15,254** |

ที่มา : รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2551 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม




รูปแสดงปริมาณขยะมูลฝอย ปี 2551 จำแนกตามลักษณะพื้นที่




รูปแสดงปริมาณขยะมูลฝอย ปี 2551 ที่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

### 2) รูปแบบการจัดเก็บและการกำจัดขยะ

**(ก) ขยะมูลฝอยในกรุงเทพมหานคร** กรุงเทพมหานครดำเนินการเก็บขยะมูลฝอยเองทั้งหมด และว่าจ้างบริษัทเอกชนเป็นผู้ดำเนินการกำจัด โดยขยะมูลฝอยประมาณร้อยละ 13 จะถูกนำไปหมักทำปุ๋ย และที่เหลืออีกร้อยละ 87 จะถูกนำไปกำจัดยังสถานที่ฝังกลบ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม และอำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา

**(ข) ขยะมูลฝอยในเขตเทศบาล** เทศบาลจะนำไปกำจัดยังสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ได้รับการออกแบบก่อสร้างอย่างถูกหลักวิชาการ และสามารถเดินระบบได้แล้วที่มีอยู่ทั้งสิ้น 97 แห่ง แบ่งเป็น สถานที่ฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล 92 แห่ง ระบบผสมผสาน 2 แห่ง (เทศบาลตำบลเวียงฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เทศบาลนครระยอง) และระบบเตาเผา 3 แห่ง (เทศบาลเมืองลำพูน เทศบาลนครภูเก็ต เทศบาลตำบลเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี) สามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้คิดเป็นร้อยละ 36

**(ค) ขยะมูลฝอยนอกเขตเทศบาล** องค์การบริหารส่วนจังหวัดและองค์การบริหารส่วนตำบลจะเป็นผู้รับผิดชอบเก็บรวบรวมและนำไปกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่มีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกหลักสุขาภิบาลกำจัดด้วยการเทกองทิ้งกลางแจ้งหรือเผากลางแจ้ง มีเพียงไม่กี่แห่งที่นำไปกำจัดอย่างถูกหลัก

สุขาภิบาลรวมกับเทศบาลใกล้เคียง ซึ่งจากข้อมูลปัจจุบันพบว่าสามารถกำจัดขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลได้เพียงร้อยละ 8 ของปริมาณขยะมูลฝอยนอกเขตเทศบาล

### 3) องค์ประกอบและปริมาณขยะชุมชน

องค์ประกอบขยะชุมชนจะเปลี่ยนไปตามสภาพของภูมิอากาศ ฤดูกาล และพฤติกรรมทางเศรษฐกิจสังคม วิถีชีวิต ตลอดจนอุปนิสัยและแบบแผนในการบริโภคของแต่ละชุมชนโดยทั่วไปจะมีค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะแสดงดังตารางที่ 1-3

**ตารางที่ 1-3 องค์ประกอบเฉลี่ยในเทศบาลที่มีปริมาณมากกว่า 100 ตัน/วัน และ 50-100 ตัน/วัน**

| องค์ประกอบ | ปริมาณขยะมากกว่า100 ตัน/วัน | ปริมาณขยะที่ 50-100 ตัน/วัน |
|---|---|---|
| เศษอาหาร/ผัก/ผลไม้ | 53.49 % | 57.18 % |
| พลาสติก | 20.12 % | 19.40 % |
| กระดาษ | 8.95 % | 8.38 % |
| แก้ว | 5.02 % | 3.47 % |
| โลหะ | 1.80 % | 1.52 % |
| อื่นๆ เช่น กระดูก/เปลือกหอย/สารพิษ ผ้าอ้อม/ผ้าอนามัย/ถ่านไฟฉาย เป็นต้น | 10.62 % | 10.05 % |

ที่มา : โครงการศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ ความร้อนจากขยะชุมชน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548

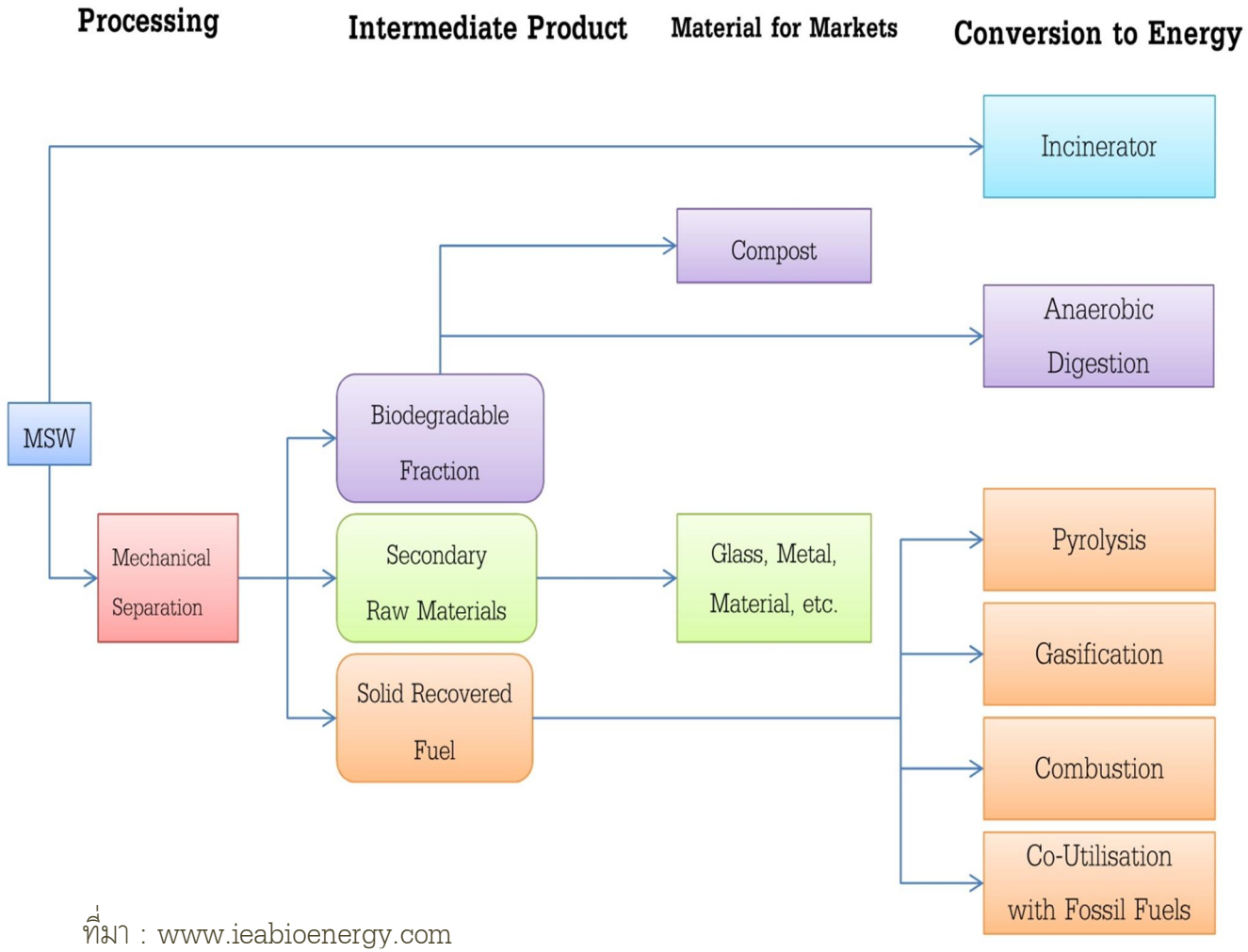
## 1.2 ประเภทเทคโนโลยีของขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน

สำหรับเทคโนโลยีของการกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- **เทคโนโลยีความร้อน** เป็นการใช้กระบวนการใช้ความร้อนทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการแตกสลายตัว ได้แก่
  - เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator)
  - เทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification)
  - เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)
- **เทคโนโลยีชีวภาพ** เป็นการใช้กระบวนการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์เพื่อทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ ได้แก่
  - เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
  - เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)

➢ **เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ** เป็นการเปลี่ยนรูปขยะ โดยการคัดเลือกองค์ประกอบของขยะมาสู่กระบวนการคัดแยกและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานต่อไป ได้แก่

- o เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF)
- o เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยด้วยการอบไอน้ำ (Autoclaving for RDF)




ที่มา : www.ieabioenergy.com

**รูปแสดงแนวทางการจัดการขยะเป็นพลังงาน**

เทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยสำหรับแหล่งขยะชุมชนที่มีสถานภาพเป็นเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ (Commercial Technology) ซึ่งถูกใช้งานและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายแล้วในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) **การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process)** ได้แก่

(1.1) เทคโนโลยีผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผาขยะชุมชน (Incineration)

(1.2) เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasification)

**2) การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process)** ได้แก่

(2.1) เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

(2.2) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย แบ่งได้เป็น

(2.2.1) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Landfill Gas to Energy)

(2.2.1) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreator

**3) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ**

(3.1) เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นพลังงานโดยใช้ Thermal Conversion Process

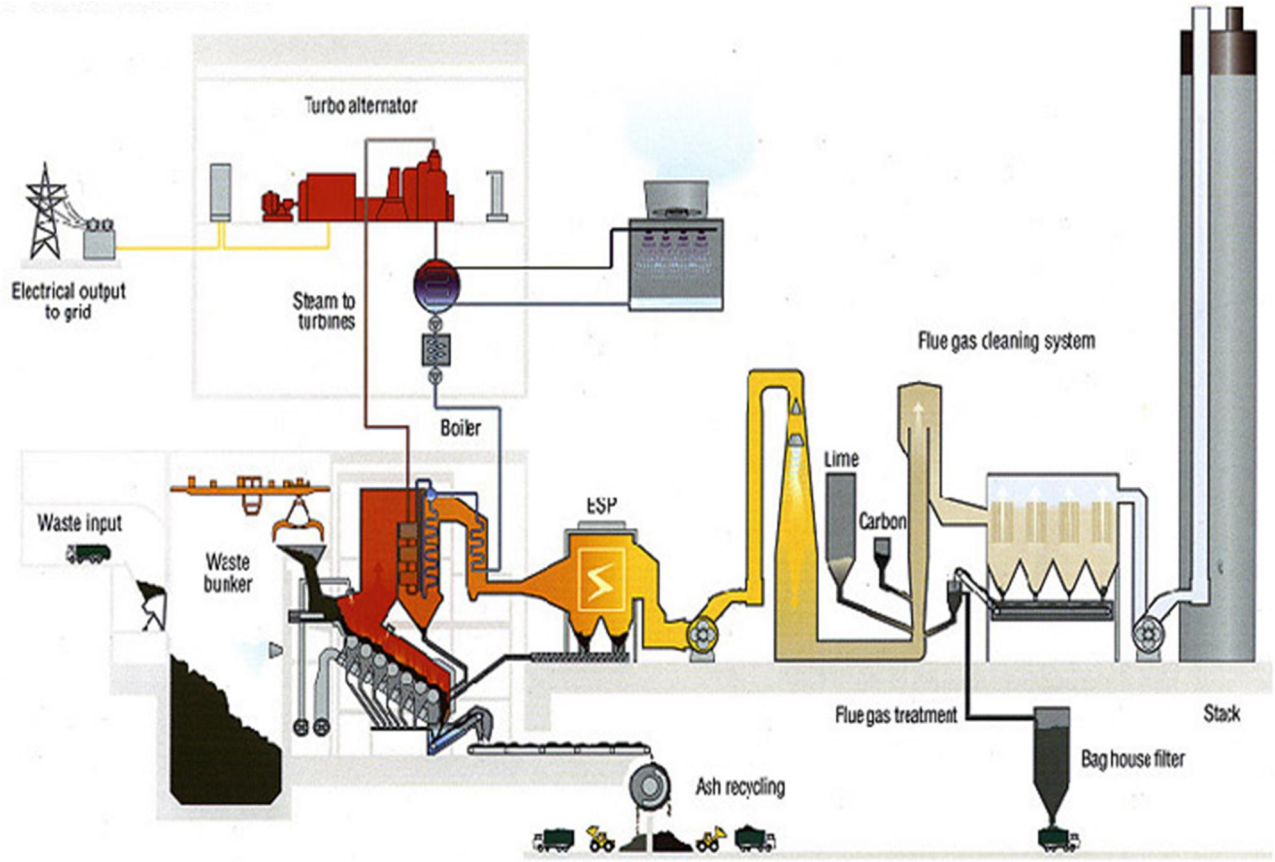
# บทที่ 2

# การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน

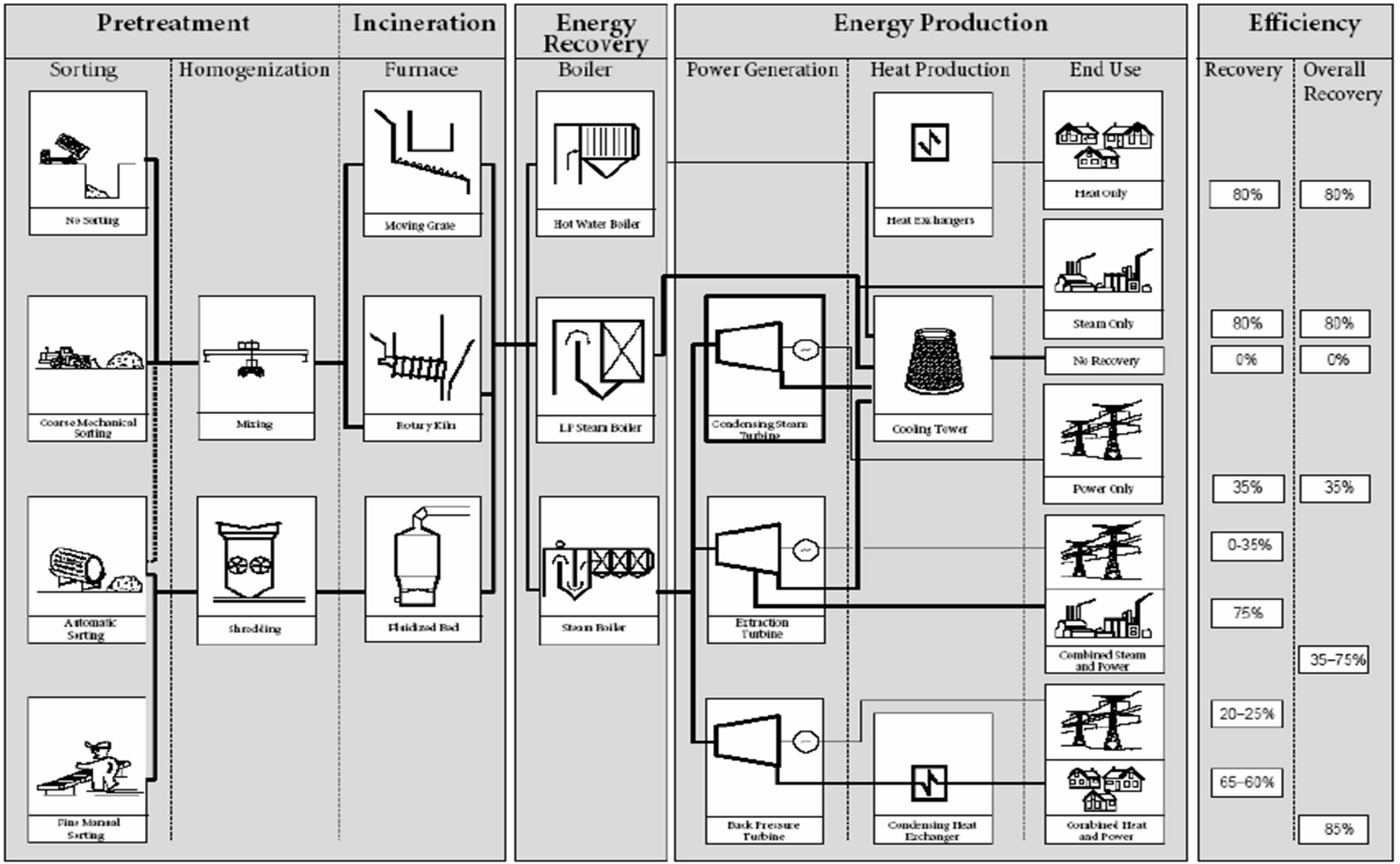
# (Thermal Conversion Process)

## 2.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incinerator)

Incineration เป็นการเผาขยะในเตาที่ได้มีการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้เข้ากับลักษณะสมบัติของขยะ ที่มีอัตราความชื้นสูงและมีค่าความร้อนที่แปรผันได้ การเผาไหม้จะต้องมีการควบคุมที่ดีเพื่อจะป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษและการรบกวนต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซพิษ เขม่า กลิ่น เป็นต้น ก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะได้รับการกำจัดเขม่าและอนุภาคตามที่กฎหมายควบคุม ก่อนที่จะส่งออกสู่บรรยากาศ โดยจะมีขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร และร้อยละ 25-30 โดยน้ำหนักของขยะที่ส่งเข้าเตาเผา ซึ่งจะถูกนำไปฝังกลบหรือใช้เป็นวัสดุปูพื้นสำหรับการสร้างถนน ส่วนขี้เถ้าที่มีส่วนประกอบของโลหะอาจถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนั้นสามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมาใช้ในการผลิตไอน้ำ หรือทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้




รูปแสดงโรงเผาขยะมูลฝอยแบบนำความร้อนมาผลิตกระแสไฟฟ้า




ที่มา : รายงานฉบับสมบูรณ์ การประเมินเทคโนโลยีของขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน, สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ธันวาคม 2549

**แผนภูมิแสดงภาพรวมการผลิตพลังงานจากการเผาขยะมูลฝอย**

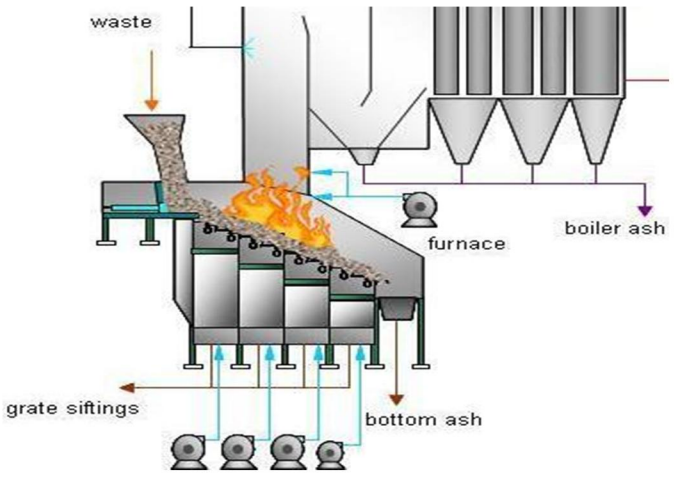
ระบบการเผาไหม้ชนิดเตาเผาขยะชุมชน (Incineration) จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบการเผาทำลายขยะมูลฝอยในสภาพที่รับเข้ามาโดยไม่ต้องมีกระบวนการจัดการเบื้องต้นก่อน หรือเรียกว่าระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burn System) และระบบการเผาทำลายขยะมูลฝอยที่มีการจัดการเบื้องต้น (Burning of Preheated and Homogenized Waste)

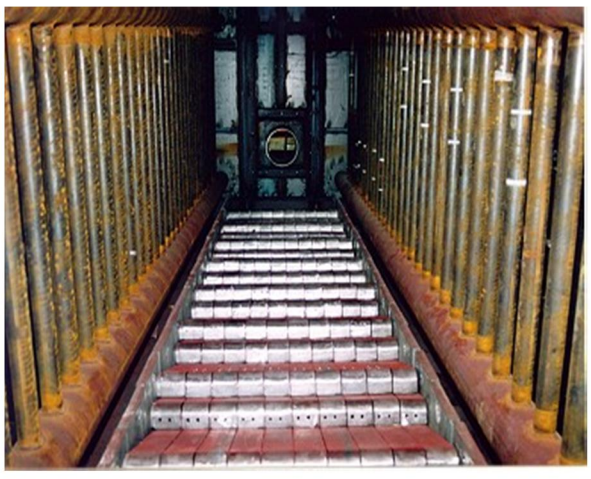
**ระบบการเผาไหม้มวล** เป็นการเผาไหม้ขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบที่หลากหลายโดยไม่ต้องมีการจัดการเบื้องต้นก่อน เทคโนโลยีนี้ปกติจะเป็นการเผาไหม้ใน**เตาเผาแบบตะกรับที่เคลื่อนที่ได้** (Moving grate) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้ว มีสมรรถนะทางเทคนิคที่ยอมรับได้และสามารถรองรับการเผาทำลายขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่หลากหลาย ส่วนระบบที่ได้รับความนิยมรองลงมา คือ **เตาเผาแบบหมุน** (Rotary Kiln) จะเป็นระบบที่มีการจัดการขยะเบื้องต้นก่อนทำการเผา จะต้องมีระบบเพื่อการลดขนาด การบดตัดและการคัดแยก ซึ่งมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัดที่ต้องการจัดการขยะเบื้องต้นก่อนทำการเผา สำหรับ**เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด** (Fluidized Bed) จัดว่าเทคโนโลยีที่ใหม่อยู่และมีการใช้งานเพื่อการเผาทำลายขยะมูลฝอยในวงจำกัด โดยทั่วไปใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยอุตสาหกรรม

เตาเผาขยะแบบฟลูอิดไดซ์เบด

## 2.1.1 เทคโนโลยีเตาเผาแบบ Moving Grate

เตาเผาขยะแบบการเผาไหม้มวล เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วยตะกรับที่สามารถเคลื่อนที่ได้และมีการเผาไหม้อยู่บนตระกรับนี้ โดยขณะเผาไหม้ ตะกรับจะเคลื่อนที่และลำเลียงขยะจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย



เตาเผาแบบตะกรับ

ตะกรับจะทำหน้าที่เป็นเสมือนพื้นผิวด้านล่างของเตา การเคลื่อนที่ของตะกรับ หากได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องจะทำให้ขยะมีการเคลื่อนย้ายและผสมผสานกันอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแทรกซึมไปทั่วถึงพื้นผิวของขยะ ตะกรับอาจถูกจัดแบ่งให้เป็นพื้นที่ย่อยเฉพาะ ซึ่งทำให้สามารถปรับปริมาณอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ได้อย่างอิสระและทำให้สามารถเผาไหม้ได้ แม้ขยะที่มีค่าความร้อนต่ำ ตะกรับที่ใช้กับระบบเตาเผาขยะมีหลายแบบ เช่น Forward Movement, BackWard Movement, Double Movement, Rocking และ Roller เป็นต้น ผนังของห้องเผาไหม้ในเตาเผาขยะมักจะเป็นแบบบุด้วยอิฐทนไฟ (Refractory Wall) หรือแบบผนังน้ำ (Water Wall) สำหรับแบบหลังนี้ส่วนมากจะปฏิบัติงานโดยใช้อากาศส่วนเกินในปริมาณต่ำ ซึ่งช่วยให้ลดปริมาตรของห้องเผาไหม้และลดขนาดของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ

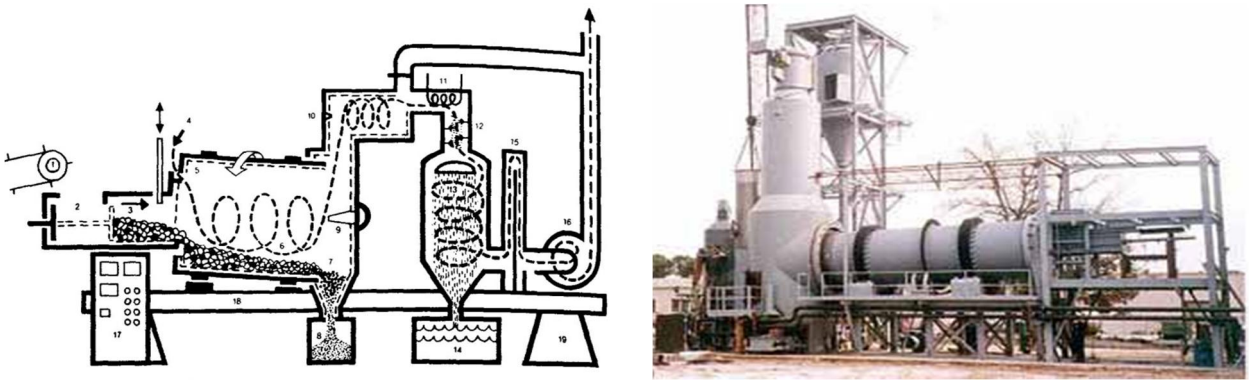
**ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียเตาเผาแบบตะกรับ**

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. ไม่ต้องการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน<br>2. เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้ว<br>3. สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี<br>4. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 85%<br>5. สามารถก่อสร้างให้มีความสามารถในการเผาทำลายได้ถึง 1,200 ตันต่อวัน หรือ 50 ตันต่อชั่วโมง | 1. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง |

### 2.1.2 เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

ระบบเตาเผาแบบหมุน เป็นการเผาไหม้ มวลของขยะมูลฝอยโดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน โดยขยะจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ เตาเผาแบบหมุนส่วนใหญ่จะเป็นแบบผนังอิฐทนไฟแต่ก็มีบ้างที่เป็นแบบผนังผนังน้ำทรงกระบอกอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และยาวตั้งแต่ 8 ถึง 20 เมตร ความสามารถในการเผาทำลายขยะมูลฝอยมีตั้งแต่ 2.4 ตันต่อวัน (0.1 ตันต่อชั่วโมง) จนถึงประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง)

อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้จะมีปริมาณที่มากกว่าแบบที่ใช้กับเตาเผาแบบตะกรับ และอาจจะมากกว่าที่ใช้กับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด สิ่งที่ตามมาก็คือ เตาเผาแบบหมุนจะมีประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากว่าเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (Retention Time) ของก๊าซไอเสียค่อนข้างสั้นเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเตาทรงกระบอกจึงมักมีส่วนต่อที่ทำเป็นห้องเผาไหม้หลัง (After-Burning Chamber) และมักรวมอยู่ในส่วนของหม้อน้ำด้วย



เตาเผาแบบหมุน

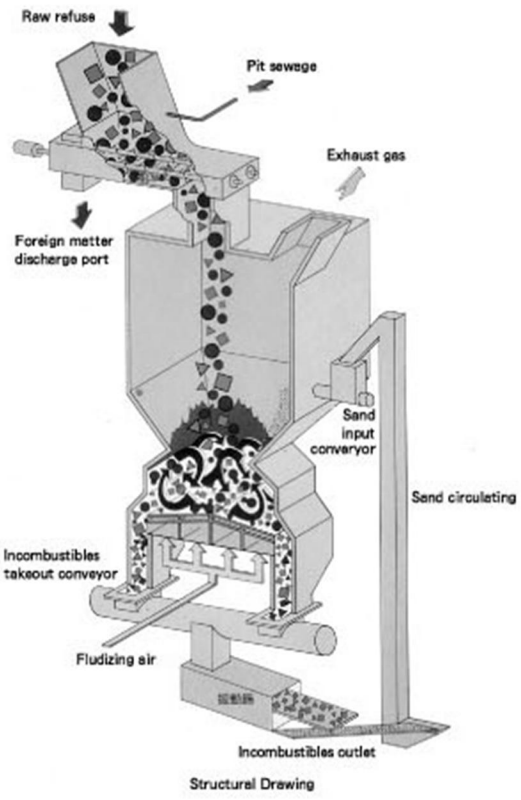
**ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียเตาเผาแบบหมุน**

| ข้อได้เปรียบ | ข้อเสียเปรียบ |
|---|---|
| 1. ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน<br>2. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 80%<br>3. สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี | 1. เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้ในการเผาทำลายขยะมูลฝอยค่อนข้างน้อย<br>2. เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง<br>3. ความสามารถในการเผาทำลายสูงสุดต่อหนึ่งเตาประมาณ 480 ตันต่อวัน หรือ 20 ตันต่อชั่วโมง |

### 2.1.3 เทคโนโลยีเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดทำงานโดยอาศัยหลักการที่อนุภาคของแข็งที่รวมตัวเป็น Bed (วัสดุที่เติมเข้าไปในเตาเพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ต่อเนื่อง) ในเตาเผาผสมเข้ากับขยะมูลฝอย ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ถูกทำให้ลอยตัวขึ้นอันเนื่องมาจากอากาศที่เป่าเข้าด้านข้างทำให้มันมีพฤติกรรมเหมือนกับของไหล เตาเผาโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตั้ง และวัสดุที่ทำ Bed มักทำมาจากทราย ซิลิกา หินปูน หรือวัสดุเซรามิค

การใช้งานเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดอยู่ในขั้นเริ่มต้น เนื่องจากมีการพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอยู่อย่างสม่ำเสมอ โดยเตาเผามีข้อได้เปรียบที่สามารถลดปริมาณสารอันตรายได้ใน Bed และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลากหลายประเภท ข้อเสียเปรียบหลักของเตาเผาแบบนี้ อยู่ที่ต้องการกระบวนการในการจัดการ




เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ขยะมูลฝอยเบื้องต้นก่อนที่จะสามารถป้อนเข้าสู่เตาเผาได้ เพื่อให้ขยะมูลฝอยมีขนาด ค่าความร้อน ปริมาณขี้เถ้าที่อยู่ข้างในและอื่นๆ เพื่อให้ตรงต่อข้อกำหนดในการปฏิบัติงานของเตาเผา และเนื่องจากขยะมูลฝอยมีลักษณะสมบัติที่หลากหลายจึงทำให้เกิดความยากลำบากในการทำให้ได้เชื้อเพลิงที่ตรงตามความต้องการ

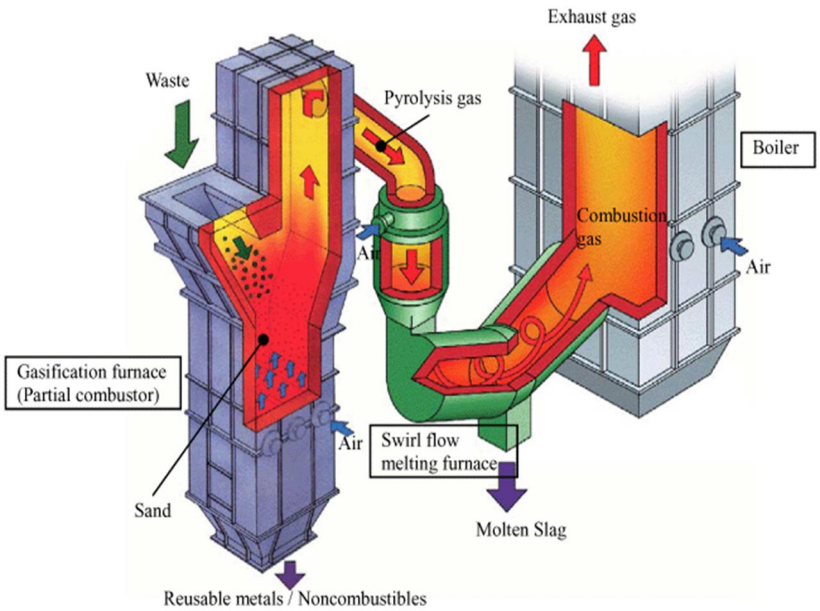
**ตารางที่ 2-3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียเตาฟลูอิดไดซ์เบด**

| ข้อได้เปรียบ | ข้อเสียเปรียบ |
|---|---|
| 1. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการออกแบบที่ค่อนข้างง่าย<br>2. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 90%<br>3. สามารถใช้ในการเผาทำ ลายเชื้อเพลิงที่หลากหลายประเภท และสามารถรองรับได้ทั้งกากของแข็งและเหลวโดยเผาทำลายร่วมกันหรือแยกจากกัน | 1. ปัจจุบันยังจัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังต้องการการทดสอบอยู่สำหรับการเผาทำลายขยะมูลฝอยชุมชน<br>2. ค่อนข้างมีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบของขยะ โดยทั่วไปต้องมีการกระบวนการในการจัดการขยะก่อนส่งเข้าเตาเผา |

## 2.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasification)

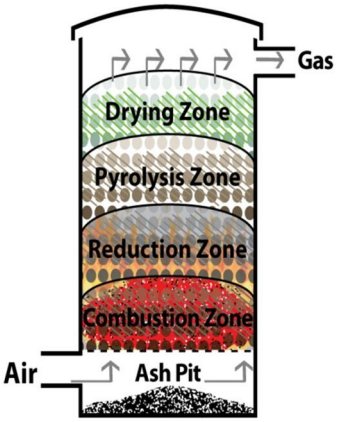
กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชนหรือเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification) เป็นกระบวนการทำให้ขยะมูลฝอยเป็นก๊าซโดยการทำปฏิกริยาสันดาปแบบไม่สมบูณ์ กล่าวคือสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน เรียกว่า Produce Gas ซึ่งในกรณีที่ใช้อากาศเป็นก๊าซทำปฏิกิริยาก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนต่ำประมาณ 3-5 MJ/Nm$^3$ แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นก๊าซทำปฏิกิริยา ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงประมาณ 15-20 MJ/Nm$^3$

เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier สามารถแบ่งออกได้เป็น Downdraft, Updraft, Cross-Current และ Fluid Bed Gasifier ดังนี้




เตาเผาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน

### 2.2.1 Updraft Gasifier

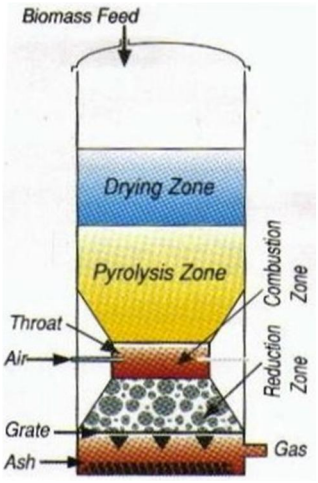


Updraft Gasifier

เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเครื่องและอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้น ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า Combustion Zone เมื่ออากาศผ่านเข้าไปบริเวณ Combustion Zone จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำก๊าซร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะมีอุณหภูมิสูงและจะถูกส่งผ่านไปยัง Reduction Zone ซึ่งเป็นโซนที่มีปริมาณคาร์บอนมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของเชื้อเพลิง และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200-500 °C หลังจากนั้นก๊าซก็จะไหลเข้าสู่ชั้นของเชื้อเพลิงที่ชื้น เนื่องจากก๊าซยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงเหล่านั้น ทำให้ก๊าซที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำลง สารระเหยและน้ำมันทาร์ที่เกิดขึ้นในช่วงการกลั่นสลายจะติดออกไปกับก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น ดังนั้นก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier จะมีปริมาณของน้ำมันทาร์มาก บางครั้งอาจมีมากถึง 20% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวล

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier มีอุณหภูมิไม่สูงนักและมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์มากทำให้มีค่าความร้อนมาก จำเป็นต้องมีหน่วยทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงก่อนนำเชื้อเพลิงไปหมุนกังหันก๊าซ ข้อดีหลักของเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier คือ ติดตั้งง่ายและมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง

### 2.2.2 Downdraft Gasifier



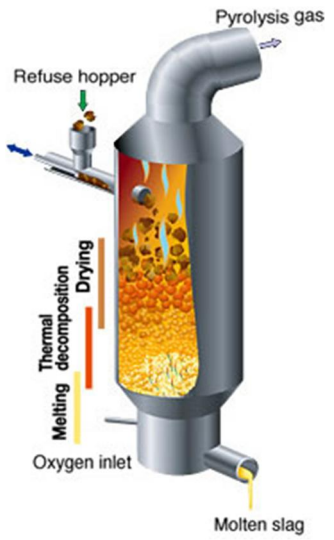
Downdraft Gasifier

เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบนี้ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันทาร์ในก๊าซเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ อากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างผ่านกลุ่มของหัวฉีดซึ่งเรียกว่า Tuyers บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณของโซน Combustion ก๊าซที่ได้จากโซน Combustion จะถูก Reduced ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างและผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนซึ่งอยู่เหนือตะแกรงเล็กน้อย ขณะเดียวกันในชั้นของเชื้อเพลิงที่อยู่ทางด้านบนของโซน Combustion จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากทำให้เกิดการกลั่นสลาย และน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน ทำให้น้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวเป็นก๊าซ ซึ่งการแตกตัวนี้จะเกิดที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง 800-1,000°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C ปฏิกิริยาดูดความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิต่ำลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ปฏิกิริยาคายความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซที่ผ่านโซน

Combustion จะมีส่วนประกอบของน้ำมันทาร์ลดลงเหลือน้อยกว่า 10% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จาก Updraft Gasifier และก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะสะอาดกว่า การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft Gasifier นี้ง่าย และมีความน่าเชื่อถือสำหรับเชื้อเพลิงที่แห้ง (มีความชื้นต่ำกว่า 30 %) เนื่องจากว่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณน้ำมันทาร์ต่ำ เครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft Gasifier จึงเหมาะกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่มีขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 500 kg/hr หรือ 500 kWe

### 2.2.3 Fluid bed Gasifier

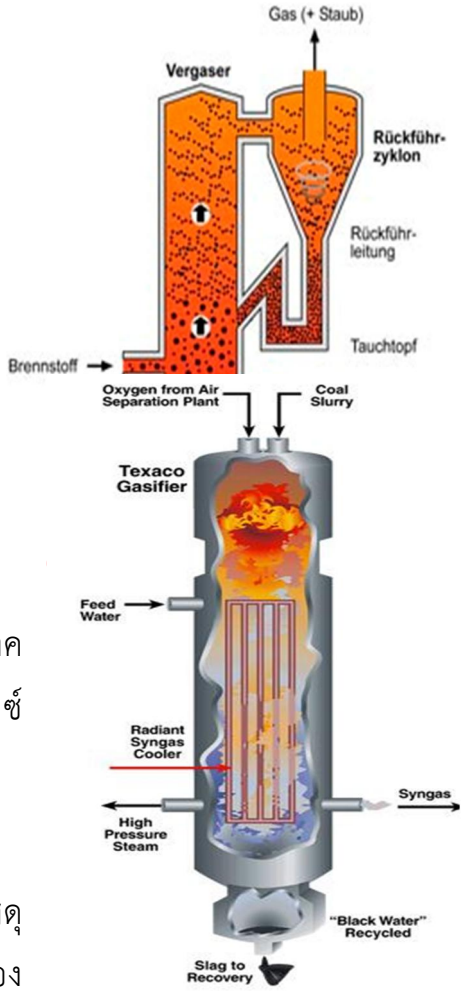
การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จะเกิด Slag มากเกินไป จึงก่อให้เกิดการอุดตันในเครื่องปฏิกรณ์บ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier ขึ้น เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านให้สูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายกับของไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์จะใส่วัสดุเฉื่อย (Inert Material) ซึ่งอาจเป็นทราย อลูมิน่า หรือออกไซด์ของโลหะที่ทนความร้อนสูงและไม่เกิดการหลอมรวมตัวกัน โดยมีแผ่นที่เจาะรูมารองรับตัวกลางเหล่านี้ที่ตอนล่างของเครื่องปฏิกรณ์ แผ่นที่เจาะรูนี้จะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวแบบฟลูอิดไดเซชันอย่างทั่วถึงของเบดโดยการผ่านอากาศหรือออกซิเจนเข้าสู่ตอนล่างของแผ่นรองรับ ซึ่งความเร็วของอากาศหรือออกซิเจนที่ผ่านเข้าไปต้องมีค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวกลางมีสภาพแขวนลอย (Suspension) โดยปกติเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงภายในเบด ปฏิกิริยา Gasification อาจเกิดขึ้นที่ส่วนที่เป็นที่ว่างเหนือเบด หรือที่เรียกว่า บริเวณ Freeboard โดยเป็นปฏิกิริยาของอนุภาคเชื้อเพลิงเล็กๆ ที่ปลิวหลุดออกมาจากเบดหรือเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำมันทาร์ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์เบบ Fluid Bed Gasifier จะมีปริมาณน้ำมันทาร์ อยู่ระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier และ Downdraft Gasifier



Fluid bed Gasifier

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier คือการสูญเสียสภาพฟลูอิดไดเซชันเนื่องจาก โลหะอัลคาไลน์จากเถ้าของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น (เช่น โซเดียมคาร์บอเนต หรือโปตัสเซียมคาร์บอเนต) จะรวมตัวกับซิลิกาในทรายซึ่งนิยมใช้เป็นตัวกลางในเบด เกิดเป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้ตัวกลางหลอมรวมกัน สูญเสียสภาพฟลูอิดไดเซชันไป อย่างไรก็ตาม การสูญเสียคาร์บอนที่ติดไปกับเถ้าอาจมาก ทำให้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier ไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้งานขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงไปด้วย

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier มีข้อดี คือ มีการผสมที่ปั่นป่วนมาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าสูง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและสามารถควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ได้ค่อนข้างง่าย ข้อเสียของเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้คือ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นถ่านชาร์ออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าสูงจึงต้องนำ Cyclone มาใช้กับระบบด้วย



Comparison of Pressurized and Atmospheric Operation

### 2.2.4 Circulating Fluid Bed Gasifier

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Circulating Fluid Bed Gasifier พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Carbon Conversion โดยอนุภาคเชื้อเพลิงจะถูกรีไซเคิลกลับมายังเบด โดยความเร็วในการฟลูอิดไดซ์จะต้องสูงพอที่จะทำให้อนุภาคลอยในปริมาณมาก

### 2.2.5 Entrained Bed Gasifier

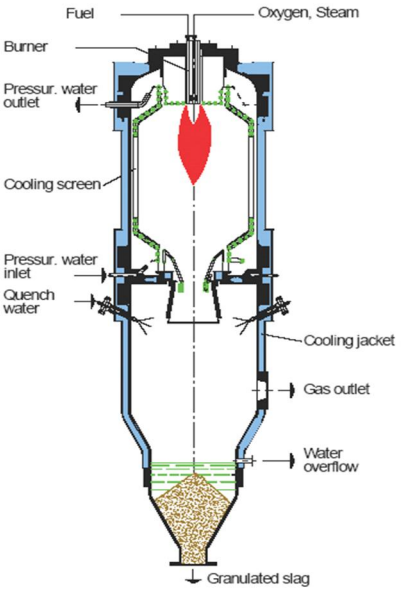
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained Bed Gasifier จะไม่มีวัสดุ Inert แต่เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องลดขนาดให้เล็กมาก โดยปกติเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้จะเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,200-1,500 °C ซึ่งขึ้นกับว่าจะใช้อากาศหรือออกซิเจน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณน้ำมันทาร์และสารไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูง จึงมีปัญหาเรื่องการเลือกใช้วัสดุและปัญหาเรื่องการหลอมตัวของเถ้า ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained Bed Gasifier จะให้ค่า Carbon Conversion สูงถึง 100% อีกทั้งมีการใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชนน้อย

### 2.2.6 Comparison of Pressurized and Atmospheric Operation

❖ **เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบอัดความดัน** มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

(1) ระบบป้อนเชื้อเพลิงยุ่งยากและแพง นอกจากนี้ยังต้องการก๊าซเฉื่อยปริมาณมากในการ purging

(2) ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก (Capital Cost) จะสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ที่ความดันบรรยากาศ โดยระบบ Pressurized Gasification จะแพงกว่าระบบ Atmospheric Gasification ถึง 4 เท่า สำหรับเครื่องที่มี



Entrained Bed Gasifier

กำลังต่ำกว่า 20 MWe แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าและพบว่าสำหรับเครื่องที่มีกำลังสูงกว่า 50 MWe ระบบ Pressurized Gasification จะคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าระบบ Atmospheric Gasification

(3) ก๊าซเชื้อเพลิงจะถูกป้อนไปยังกังหันก๊าซที่ภาวะอัดความดันจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มความดันให้กับก๊าซเชื้อเพลิงเหมือนกรณีของระบบ Atmospheric Gasification

(4) ประสิทธิภาพรวมของระบบจะสูงกว่าระบบ Atmospheric Gasification

(5) ระบบทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงโดยปกติจะใช้ระบบ Mechanical Filtersซึ่งสามารถลดการสูญเสียพลังงานทางความร้อนและความดันได้ นอกจากนี้ เป็นหลักการที่ง่ายและถูกกว่าระบบ Scrubbing

❖ **เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ที่ความดันบรรยากาศ** มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

(1) สำหรับการใช้งานในกังหันก๊าซจำเป็นต้องทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงและอัดความดันก่อนเข้ากังหัน สำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ไม่จำเป็นต้องอัดความดัน

(2) ระบบ Atmospheric Gasification มีศักยภาพในกรณีที่ใช้งานที่กำลังต่ำกว่า 30 MWe เนื่องจาก Capital Cost ต่ำกว่าระบบ Pressurized Gasification มาก

**การเลือกชนิดเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิต** ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ และออกซิแดนท์ที่ใช้ ในทางทฤษฎีจะคิดว่าน้ำมันทาร์ สารไฮโดรคาร์บอน และถ่านชาร์จะเปลี่ยนเป็นก๊าซเชื้อเพลิงทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามชนิดและรูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ได้ ซึ่งระดับของการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับรูปร่างและลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ด้วย **ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ที่เหมาะสมแสดงดังต่อไปนี้**

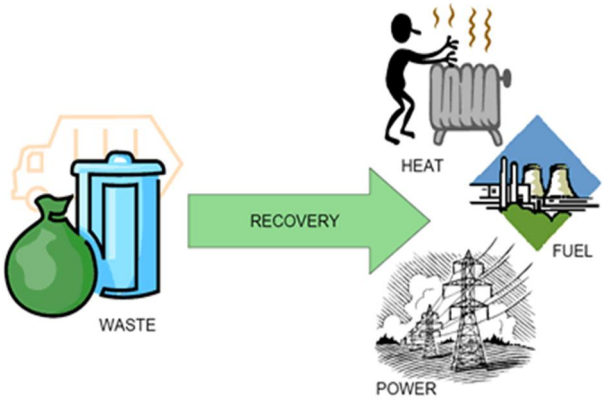
- Updraft : 20 kW-1 MW
- Downdraft : 1-15 MW
- Bubbling fluidized bed : 2-50 MW
- Circulating fluidized bed (CFB) : 10-120 MW
- Pressurized fluidized bed (PFB) : 80-500 MW

## 2.3 การนำพลังงานกลับมาใช้ (Energy Recovery)

ประโยชน์หลักที่ได้รับจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยในเตาเผา คือ การนำเอาพลังงานที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล รูปแบบการนำพลังงานขั้นสุดท้ายไปใช้งานก็ขึ้นอยู่กับผู้ต้องการใช้พลังงาน ณ โรงเผาขยะด้วยว่าเป็นอย่างไร อาจขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. โครงข่ายระบบพลังงาน เช่น มีโครงข่ายสายไฟฟ้า หรือมีโครงข่ายระบบน้ำร้อนหรือไอน้ำ

2. รูปแบบการใช้พลังงานตลอดทั้งปี ต้องระลึกว่าโรงงานเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนมักมีการการผลิตพลังงานที่ค่อนข้างจะไม่คงที่
3. ราคาของแหล่งพลังงานอื่นๆ และข้อตกลงการซื้อพลังงานกับผู้ใช้พลังงาน




ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนซึ่งรวมถึงระบบการผลิตพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานรูปสุดท้ายที่ต้องการใช้งาน การผลิตกระแสไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำและจะให้ราคาขายพลังงานที่สูง ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในระบบเครือข่ายน้ำร้อน จะได้พลังงานที่มีราคาขายพลังงานที่ไม่แพง แต่จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าและความยุ่งยาก รวมทั้งต้นทุนและความต้องการการติดตั้งด้านเทคนิคค่อนข้างต่ำกว่า โดยในตารางข้อมูลสรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่สำหรับการใช้พลังงานแต่ละประเภทเทียบกับความร้อนที่ใส่เข้าไป หากสมมุติว่าทราบค่าความร้อนของขยะที่เข้าเผาจะทำให้สามารถประมาณประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพื่อนำมาประมาณปริมาณพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ รูปแบบของการนำไอน้ำที่ผลิตจากขยะแสดงดังตารางที่ 2-4 ได้แก่

**ตารางที่ 2-4 ตารางสรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการผลิตพลังงานในรูปแบบต่างๆ**

| รูปแบบการใช้พลังงาน | พลังงานที่นำกลับมาใช้ | | ประสิทธิภาพโดยรวม |
|---|---|---|---|
| ความร้อนเท่านั้น | ความร้อน | 80% | 80% |
| ไอน้ำเท่านั้น | ไอน้ำ | 80% | 80% |
| กำลังไฟฟ้าเท่านั้น | กำลังไฟฟ้า | 35% | 35% |
| ไอน้ำและกำลังรวม | ไอน้ำ<br>กำลังไฟฟ้า | 0-75%<br>0-35% | 35-75% |
| ความร้อนและกำลังรวม | ความร้อน<br>กำลังไฟฟ้า | 60-65%<br>20-25% | 85% |

**1) ผลิตกระแสไฟฟ้าเท่านั้น** เป็นไปได้ที่จะสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ได้ถึงร้อยละ 35 ของพลังงานที่สามารถมีให้ได้ทั้งหมดในขยะมูลฝอย ความร้อนส่วนที่เกิน (Surplus Heat) จะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์ หรือในหอระบายเย็น (Cooling Tower) ทางเลือกนี้ เหมาะสมอย่างยิ่งเมื่อบริเวณสถานที่ตั้งโรงเผาขยะไม่มีผู้ใช้ไอน้ำอยู่ใกล้ และเมื่อพลังงานถูกใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจึงใช้เทอร์ไบน์แบบ Fully Condensing Turbine ความร้อนที่ขับออกไปทางคอนเดนเซอร์ไม่จูงใจพอที่จะเก็บกลับมาใช้ใหม่ และการหล่อเย็นอาจใช้น้ำทะเลหรืออากาศ

2) **ผลิตความร้อนและกำลังร่วม** เมื่อมีการผลิตทั้งความร้อนและกำลังร่วมกันจะทำให้สามารถใช้พลังงานที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยได้ถึงร้อยละ 85 และเมื่อหม้อไอน้ำถูกออกแบบมาให้ใช้กับเตาเผาขยะมูลฝอยโดยเฉพาะจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าถึงร้อยละ 20 ถึง 25 และกำลังความร้อนร้อยละ 65 ถึง 60 ในกรณีนี้เมื่อมีการผลิตทั้งความร้อนและกำลังทำให้ต้องใช้ Back Pressure Turbine

3) **ผลิตไอน้ำและกำลังร่วม** เมื่อมีการผลิตทั้งไอน้ำและเพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมและกำลังร่วม กำลังไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับไอน้ำที่ถูกดึงไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึง 35 และเมื่อผลิตทั้งไอน้ำและกำลังจึงทำให้ต้องมีไอน้ำที่ไหลผ่านเทอร์ไบน์อย่างน้อยประมาณร้อยละ 10 และเทอร์ไบน์ที่ใช้จะเป็นแบบ Extraction Turbine

# บทที่ 3

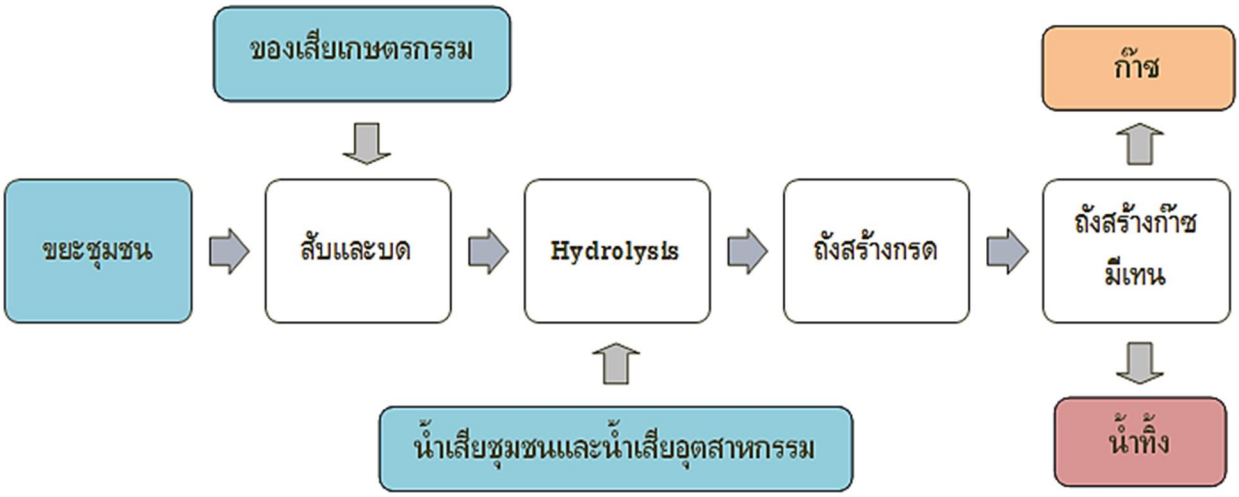
# การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ

เทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในขยะมูลฝอยด้วยจุลลินทรีย์และทำให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

## 3.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้อากาศในการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชนเป็นเรื่องใหม่ แม้ในประเทศพัฒนาแล้ว ก็เป็นเรื่องที่ทำกันมาไม่นานนัก สำหรับประเทศไทยการคัดแยกขยะชุมชนเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเพื่อแยกวัสดุที่ขายได้ เช่น ขวดพลาสติก แก้ว ฯลฯ ทำให้ขยะที่ส่งไปเก็บที่กองขยะต่างๆ มีสัดส่วนของสารอินทรีย์อยู่มากจนสามารถเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศได้




**รูปแสดงขั้นตอนการสร้างก๊าซชีวภาพจากแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนต่างๆ**

แม้ว่าการย่อยสลายขยะชุมชนแบบไม่ใช้อากาศ จะมีหลักการเดียวกับการบำบัดน้ำเสียต่างๆ แต่ขั้นตอนการทำงานของการย่อยสลายขยะชุมชนมีมากกว่าเนื่องจาก ทั้งนี้เพราะน้ำเสียและของเสียต่างๆ มีลักษณะแตกต่างกัน โดยที่ขยะชุมชนจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งขนาดใหญ่และอยู่ภายใต้สภาวะที่เรียกว่า “แห้งกว่า” น้ำเสียต่างๆ มาก การย่อยสลายขยะจึงมีขั้นตอนการบดขยะและขั้นตอนการลดขนาดของของแข็งอินทรีย์ จากนั้นจึงเป็นกลไกปกติของการย่อยสลายภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ

**ตารางที่ 3-1 แสดงลักษณะของ Feed ของระบบบำบัดน้ำเสียและสลัดจ์แบบต่างๆ**

| ระบบบำบัดน้ำเสีย | น้ำเสียหรือของเสีย | ลักษณะของน้ำเสียหรือของเสีย |
|---|---|---|
| 1. ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม | น้ำเสียอุตสาหกรรม | เป็นของเหลวมี TS ต่ำ |
| 2. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน | น้ำเสียชุมชน | เป็นของเหลวมี TS ต่ำ |
| 3. ระบบบำบัดสลัดจ์อินทรีย์ (จากระบบบำบัดน้ำเสีย) | สลัดจ์ส่วนเกินของระบบเอเอสหรือระบบอื่น | 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) |

### 3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชน

ประกอบด้วย

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

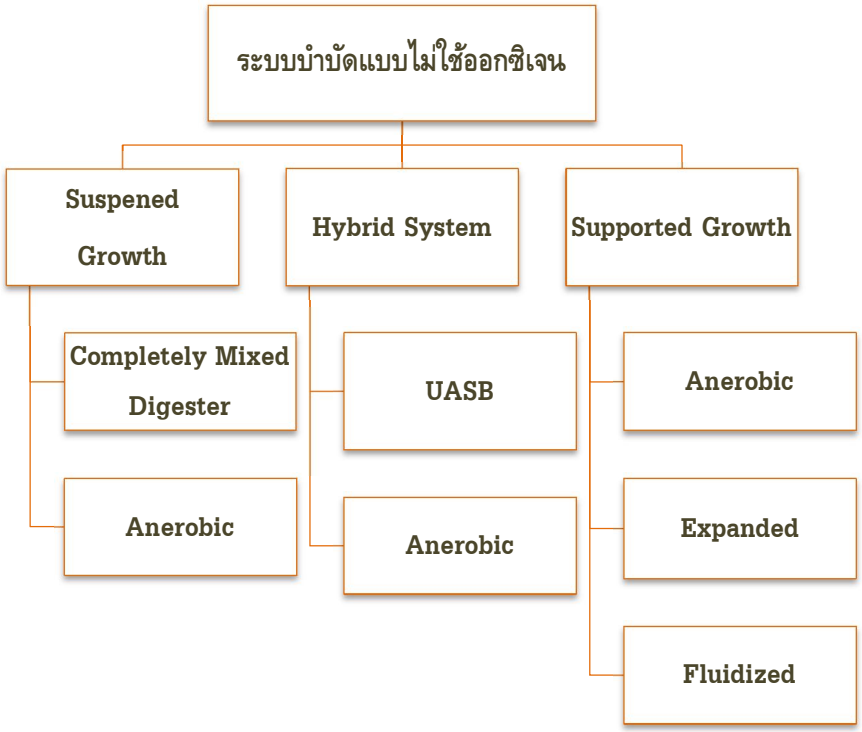
**(2) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)** เป็นขั้นตอนในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ การกำจัดกลิ่นและทำให้ขยะมูลฝอยคงสภาพรวมทั้งเพื่อให้ได้กากตะกอนจากการย่อยสลายปราศจากเชื้อโรค

**(3) การบำบัดขั้นหลัง (Back-end Treatment)** ได้แก่ การทำให้การย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์สมบูรณ์มากขึ้นโดยใช้ระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ หรือการฆ่าเชื้อโรค และการกำจัดสิ่งปะปนออกจากสารปรับสภาพดิน หรือเป็นการทำให้ความชื้นของสารปรับสภาพดินที่ได้อยู่ระดับเหมาะสม หรืออยู่ในสภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช

### 3.1.2 รูปแบบของถังบำบัดกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศ อาจใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นรูปแบบของถังหมัก แต่ไม่ว่าวัตถุประสงค์จะเป็นเช่นใดก็ตาม กระบวนการไม่ใช้อากาศก็มักมีลักษณะสำคัญร่วมกัน คือ สามารถสร้างก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ กระบวนการบำบัดสลัดจ์มักเป็นถังรูปแบบเดียวคือถังย่อยสลัดจ์ (Sludge Digestion Tank) ส่วนรูปแบบอื่นๆ มักใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมาจากถังหมักธรรมดาจนถึงแบบอัตราสูง รูปแบบของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจจำแนกได้เป็น 3 ประเภทหลัก




แผนผังแสดงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรูปแบบต่างๆ

### 1) ระบบแบบเลี้ยงเชื้อแขวนลอย (Suspened Growth)

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

### 2) ระบบแบบเลี้ยงเชื้อเกาะติด (Supported Growth)

เนื่องจากแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักไม่สามารถตกตะกอนได้ดี และอาจหลุดออกไปกับน้ำทิ้งของถังหมักทำให้มีผู้คิดค้นที่จะให้แบคทีเรียเกาะติดกับตัวกลางและเสมือนว่าตัวกลางนั้นถูกใช้เป็นตัวกรองให้แบคทีเรียไม่หลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทำให้ค่าใช้จ่ายของการสร้างถังตกตะกอนมาอยู่ที่ราคาของตัวกลางที่ให้แบคทีเรียเกาะติด ระบบนี้มีตัวอย่างของถังปฏิกิริยา 3 ชนิดคือ ถังกรองไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Filter, Expanded Bed และ Fluidized Bed)

### 3) ระบบแบบผสม (Hybrid System)

ระบบนี้ไม่ได้เป็นทั้งแบบเลี้ยงแขวนลอยหรือเลี้ยงเชื้อเกาะติดอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ดูเหมือนว่าจะเป็นทั้งสองอย่างปนกัน จึงจัดว่าเป็นแบบลูกผสม สำหรับระบบแบบผสมมีตัวอย่างของถังปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ บ่อหมักไม่ใช้อากาศ และระบบ UASB

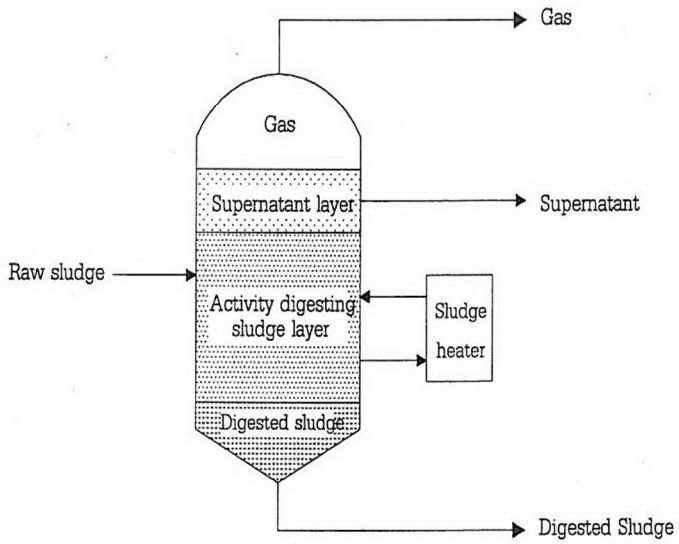
**ตารางที่ 3-2 การเปรียบเทียบกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่างๆ**

| ข้อพิจารณา | เลี้ยงเชื้อแขวนลอย (Suspended Growth) | ระบบผสม (Hybrid Systems) | เลี้ยงเชื้อเกาะติด (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 | มีอายุตะกอนสูงจึงมีเสถียรภาพดี |
| - สภาพทางชลศาสตร์ในถังปฏิกรณ์ | ใช้เครื่องกวน | ใช้การหมุนเวียนน้ำออกเข้ามาผสมในถังปฏิกรณ์หรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า | ใช้การหมุนเวียนน้ำออกเข้ามาผสมในถังปฏิกรณ์หรือใช้ก๊าซชีวภาพมาเป่า |
| - การใช้พลังงาน | สูง | ต่ำ มีการหมุนเวียนน้ำ | ต่ำ (ยกเว้นแบบ Fluidized) |

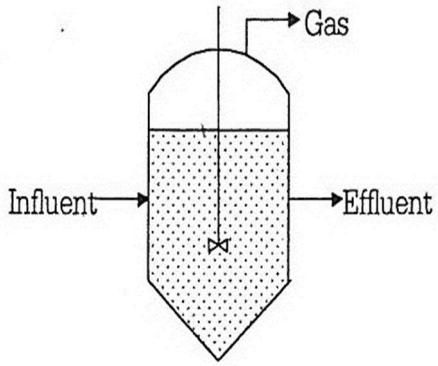
กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ขึ้นอยู่กับรูปแบบของถังหมัก ซึ่งมักมีบำบัดกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ สำหรับเทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่

1) **ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์)** แบ่งเป็น ระบบถังย่อยที่ไม่มีการกวนตะกอนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราต่ำ (Low Rate Digester) และระบบถังย่อยที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิเพื่อเร่งปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราสูง (High Rate Digester) สำหรับถังย่อย

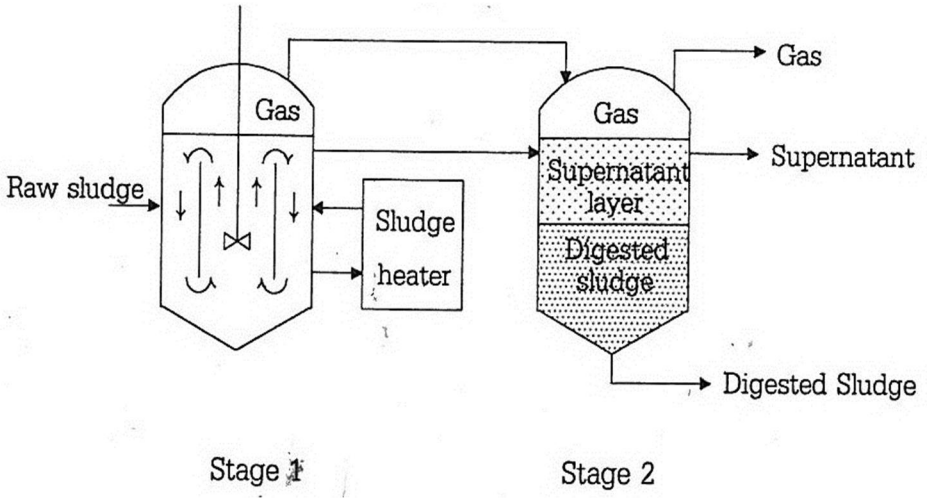
แบบอัตราสูงที่มีถัง 2 ชุด โดยมีระบบการแยกตะกอนสลัดจ์ออกจากถังย่อยสลัดจ์ชุดที่ 2 ซึ่งทำให้สามารถได้สลัดจ์ย่อยแล้วที่มีความเข้มข้นสูงและปล่อยน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ (สกปรกน้อย)




รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราต่ำ

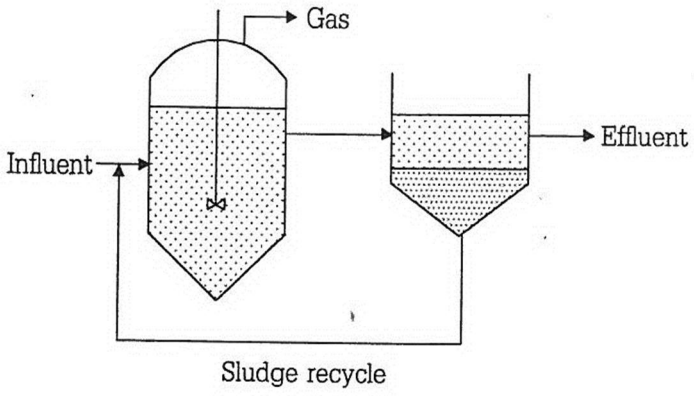



รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราสูง



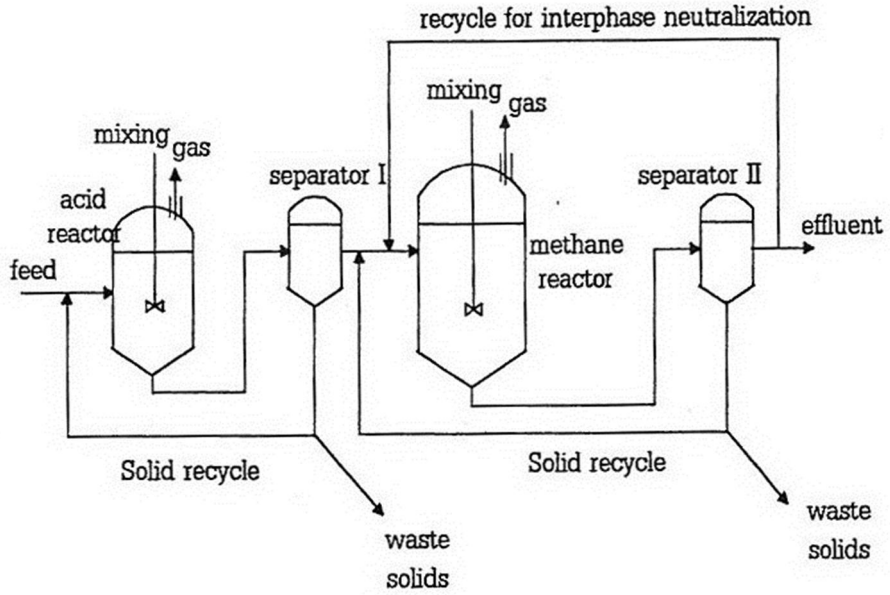

รูปแสดงถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน

2) ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact) ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้น ถังย่อยแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยแบบนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge) อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดหนีของสลัดจ์เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากไม่เป็นที่นิยม ระบบที่ยังคงใช้ได้จะมีความสามารถในการรับภาระซีโอดีได้ต่ำ




**รูปแสดงถังย่อยแบบสัมผัส**

**3) ถังย่อยแบบแยกเชื้อ** การออกแบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยคนละใบ ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้เต็มกำลังและเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกิริยาให้ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าทำให้การควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งจากรูปถังย่อยแบบแยกเชื้อ แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังย่อยแบบแยกเชื้อที่ใช้พีเอชเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังย่อย ถังใบแรกซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 ซึ่งจะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังที่สองซึ่งมีพีเอชประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถังเพื่อมิให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด

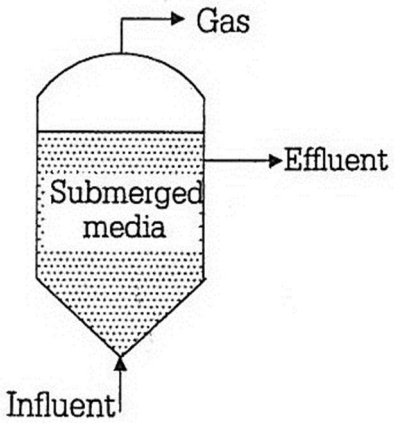



**รูปแสดงถังย่อยแบบแยกเชื้อ**

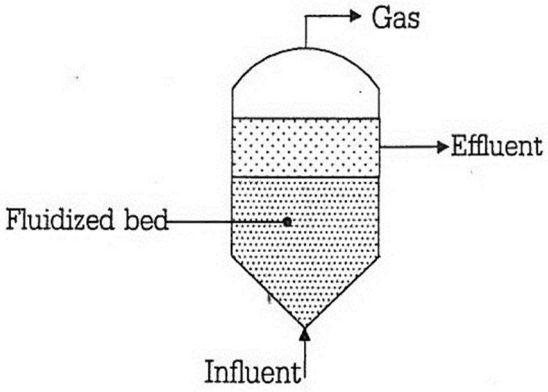
**4) เครื่องกรอกแบบไม่ใช้อากาศ (AF หรือ Anaerobic Filter)** ลักษณะทั่วไปของระบบตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศจะเป็นถังสูงคล้ายถังกรอง ที่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้วหรือใช้เป็นตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำ

ที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปรกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะใช้เวลากักน้ำต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือ ต้องจัดวิธีการกระจายน้ำเสียเข้าถังให้ได้อย่างสม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกันแต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาลงได้โดยให้มีการตกตะกอบน้ำเสียก่อนส่งเข้าถังกรองไม่ใช้อากาศ ถังไม่ใช้อากาศแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวไปแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ

**5) ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB หรือ Anaerobic Fluidized Bed)** ระบบแบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ ตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนจัดเป็นระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film) แบบไม่ใช้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย อัตราไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการได้แก่ ทราย, แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมหาศาลอยู่ในระบบอัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถังปฏิกิริยาที่ใช้ระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้ จึงยังไม่ได้รับความนิยม




รูปแสดงระบบตัวกรอกแบบไม่ใช้อากาศ




รูปแสดงระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ

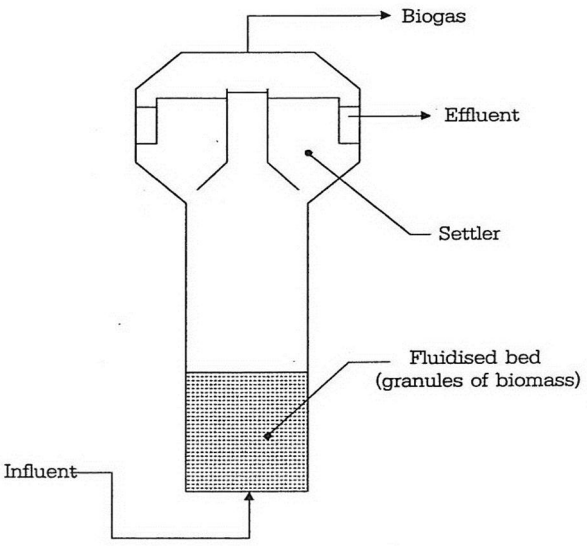
**6) ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ UPFLOW Anaerobic Sludge Blanket)** สารตัวกลางอยู่ในระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศและระบบ AFB ทำให้ถังปฏิกิริยาต้องเสียปริมาตรใช้งานและเสียเงินซื้อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก วิศวกรจึงคิดค้นระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวกลาง ระบบใหม่นี้มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบน แต่แบคทีเรียจะถูก

เลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกิริยาจะทำให้เม็ดตะกอนแบคทีเรียมิให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยเสมอ

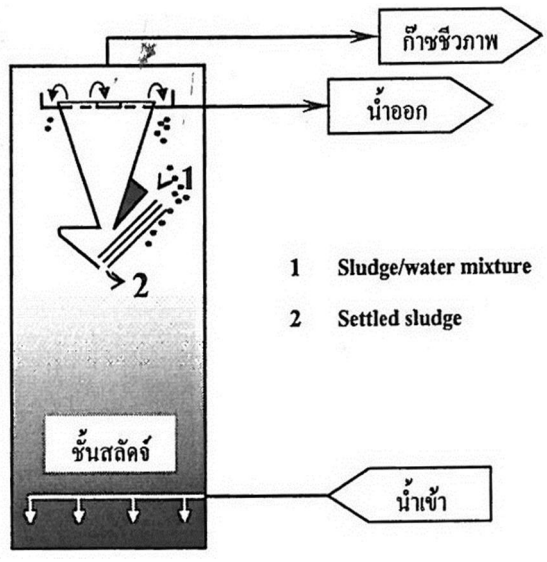
จุดอ่อนของระบบคือการสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องยากและอาจถือว่าเป็นเรื่องไม่ธรรมดาเนื่องจากธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศไม่มีนิสัยเกาะจับกันเป็นกลุ่มฟล้อค วิศวกรที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จอ้างว่า ระบบนี้สามารถรับภาระซีโอดีได้สูงกว่าระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น ๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น

**7) EGSB หรือ Expanded Granular Sludge Bed** EGSB เป็นระบบ UASB แบบพิเศษ น้ำเสียไหลเข้าถังหมักทางด้านล่างโดยผ่านระบบท่อกระจายน้ำแบบพิเศษ ภายในถังหมักจะมีชั้นนอนของสลัดจ์ที่เป็นเม็ดแบคทีเรียขนาดประมาณเม็ดทราย เม็ดสลัดจ์มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้ดี (ความเร็วในการตกตะกอนประมาณ 60-80 ม./ชม.)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นสลัดจ์นอน (Sludge Bed) ความสูงของชั้นสลัดจ์นอน ขึ้นอยู่กับความสูงของถังหมัก ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 7-14 เมตร เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นมาถึงตอนบนซึ่งเป็น GSS หรือระบบแยกก๊าซ-ของเข็งแขวนลอย-น้ำ ก๊าซชีวภาพและของแข็งแขวนลอย (SS) จะแยกออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว ก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ SS จะตกตะกอนกลับลงไปยังตอนล่างของถังหมัก น้ำเสียบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังหมัก ระบบ GSS ของถังหมักแบบ EGSB เป็นระบบที่ออกแบบพิเศษให้สามารถทำงานได้ดีกว่าระบบ GSS ของถัง UASB ทั่วไป กล่าวคือ ให้สามารถรับอัตราไหลได้สูงกว่า (อัตราน้ำล้นผิวของระบบ GSS ชุดพิเศษนี้มีค่าประมาณ 1 ม./ชม.)



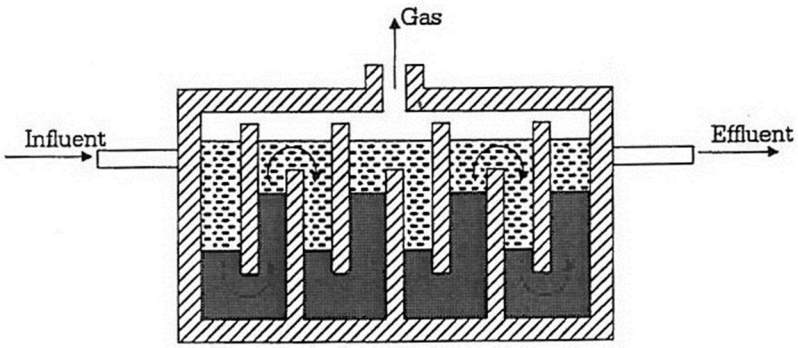

รูประบบยูเอเอสบี




รูปภาพตัดขวางของถังหมักแบบ EGSB

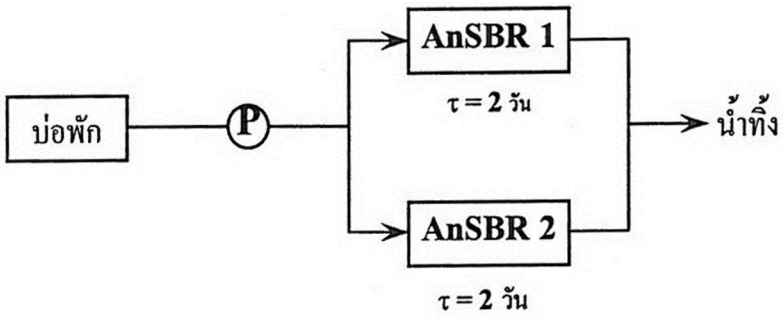
**8) ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ (ABR หรือ Anaerobic Baffled Reactor)** ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ คือ มีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นมุดลงอยู่ในแนวตั้ง ถังปฏิกรณ์จึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น ๆทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ข้อดีของระบบนี้คือ

เป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมาก ทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำจึงสามารถทำให้ดีโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ใด ๆ และก๊าซก็สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ง่ายเช่นกัน ทำให้การเก็บกักเซลล์เกิดได้ดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ระบบได้มาก การบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง




รูประบบ Anaerobic Baffled Reactor

**9) AnSBR หรือ Anaerobic Sequencing Batch Reactor** ระบบ AnSBR ที่ใช้มีลักษณะเดียวกับระบบยูเอเอสบีหรือถังหมักไม่ใช้อากาศที่เปิดฝา ไม่มีการกวนน้ำและมีการเติมน้ำเสียเป็นแบบเท (Batch) การย่อยสลายตัวของซีโอดีทำให้มีก๊าซเกิดขึ้นจนทำให้ชั้นสลัดจ์ฟุ้งทั้งถังคล้ายกับมีการกวนน้ำด้วยใบพัดกวน เมื่อซีโอดีลดลงปริมาณก๊าซก็ลดลง (จะเห็นได้จากการลดลงของการฟุ้งของชั้นสลัดจ์) ทำให้มีการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ทำให้สามารถแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนออกทิ้งได้ การออกแบบอาจให้รอบการทำงานของ แต่ละถังเป็นเวลา 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




รูปแสดงการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR

**10) บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ หรือ Cover logoon** เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดที่ง่ายที่สุด โดยมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลาย ๆ วัน ภายในระยะเวลาดังกล่าวน้ำเสียจะถูกย่อยด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากบ่อหมักไม่ใช้

อากาศมีขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง นอกจากนั้นยังอาจจะมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศจึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชานเมืองที่ซึ่งราคาที่ไม่สูงนัก และมีผู้คนอาศัยอยู่ไม่หนาแน่น

วิศวกรมักออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศด้วยค่า Organic Loading ไม่เกิน 0.5 กก.ซีอี/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้เพื่อมิให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าบ่อหมักจะออกแบบได้ดีเพียงใดก็มีโอกาสจะเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจได้เสมอ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามในการปิดบ่อไม่ใช้อากาศเพื่อป้องกันเรื่องกลิ่นเหม็น และเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ความก้าวหน้าในทางวัสดุศาสตร์โดยเฉพาะเรื่องเทคโนโลยีพลาสติกและเรซิน ทำให้สามารถใช้แผ่นพลาสติกที่สามารถเป็นฝาปกคลุมบ่อไม่ใช้อากาศได้ในราคาพอสมควร ข้อดีที่ตามมาจากการปิดบ่อหมักอีกประการหนึ่งคือ ทำให้สามารถสร้างในพื้นที่ใกล้ชุมชนได้มากกว่าในอดีตและทำให้สามารถออกแบบบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝา ด้วยค่า Organic Loading ที่สูงกว่า 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีผลทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง ค่าก่อสร้างที่ลดลงเนื่องจากลดขนาดบ่อมีส่วนทำให้สามารถชดเชยค่าปิดฝาบ่อได้บ้าง

**รูปแสดงบ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝาที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ**

### 3.1.3 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 โดยทั่วไปการบำบัดขั้นหลังจะเป็นการรีดน้ำออกจากตะกอนเหลวแล้วนำส่วนที่เป็นของแข็งไปหมักแบบใช้อากาศ เพื่อปรับสภาพ (Maturation) ให้การย่อยสลายสารอินทรีย์สมบูรณ์มากขึ้น และส่วนที่เป็นของเหลวก็จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ในระบบหรือนำไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง

ที่มา : IEA Bioenergy (1996)

**รูปแสดงการปรับสภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน**

**รูปแสดงการนำตะกอนเหลวที่ผ่านการย่อยสลายแล้วไปใช้ในรูปของปุ๋ยน้ำ**

***โดยสรุปหลักการทั่วไปในการควบคุมคุณภาพและใช้ประโยชน์จากเศษเหลือจากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอย่างปลอดภัย*** มีดังนี้คือ

- ส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด
- คัดเลือกชนิดและคุณภาพของขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบและไม่ยอมให้ขยะมูลฝอยอันตราย และขยะมูลฝอยติดเชื้อเข้าสู่ระบบ
- สุ่มเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบเป็นระยะๆ
- ออกแบบและเดินระบบ Front-end Treatment ให้เหมาะสม หากจะต้องคัดแยกขยะอินทรีย์จากขยะมูลฝอยรวม
- ควบคุมปัจจัยในการเดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (อุณหภูมิ ระยะเวลากักพัก) ให้เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำให้ขยะอินทรีย์คงสภาพ
- มีระบบฆ่าเชื้อโรคหรือวิธีการควบคุมที่เท่าเทียมกันเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ ก่อโรค อย่างเหมาะสม
- ใช้หลักการเกษตรเหมาะสมในการนำสารปรับสภาพดินไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก

หากสามารถจัดการคุณภาพสารปรับสภาพดินให้ได้ตามหลักการข้างต้น ก็จะสามารถมั่นใจได้ว่าจะได้รับประโยชน์จากการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะมูลฝอยอินทรีย์อย่างเต็มที่ ซึ่งไม่เพียงแต่จะเป็นระบบที่สามารถผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชน แต่ยังเป็นระบบที่มีอัตราการรีไซเคิลขยะอินทรีย์สูงสุด โดยการเปลี่ยนขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้เป็นสารปรับสภาพดินที่สามารถคืนความอุดมสมบูรณ์ให้กับธรรมชาติได้

### 3.1.4 การใช้พลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

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

**ตารางที่ 3-3 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ**

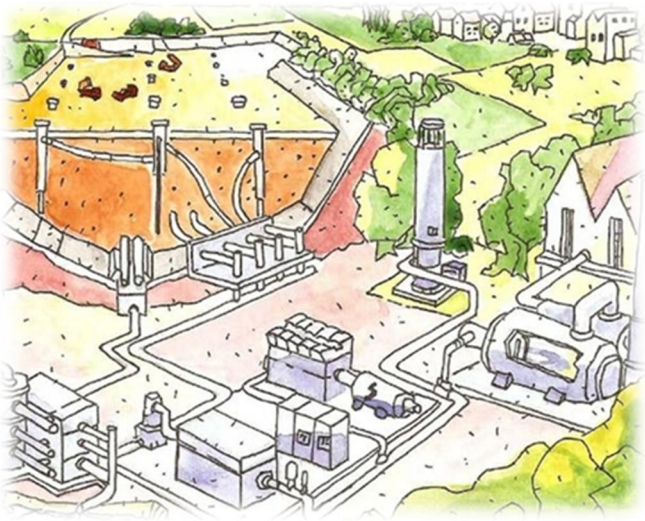
| พารามิเตอร์ | หน่วย | ก๊าซธรรมชาติ | ก๊าซชีวภาพ* |
|---|---|---|---|
| Lower Calorific Value | $MJ/m^3$ | 36.14 | 21.48 |
| Density | $kg/m^3$ | 0.82 | 1.21 |
| Maximum Velocity | m/s | 0.39 | 0.25 |
| Theory Air Requirement | $m^3 air/m^3 gas$ | 9.53 | 5.71 |
| Max. $CO_2$-conc. In Stack Gas | %Vol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

หมายเหตุ * เมื่อก๊าซชีวภาพมีมีเทนเป็นองค์ประกอบ 60 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 38 เปอร์เซ็นต์และก๊าซอื่นๆ 2 เปอร์เซ็นต์

ที่มา : Wellinger, A. and Linberg, A. (n.d.).

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

❑ **การใช้ CHP-Engine** สำหรับการเปลี่ยนพลังงานของก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อถือได้ และเป็นที่นิยมแพร่หลายมาเป็นเวลานาน โดยก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปเผาใน Internal Combustion Engine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าของ Internal Combustion Engine ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 200 กิโลวัตต์) จะมีประสิทธิภาพประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Internal Combustion Engine ขนาดใหญ่อาจมีประสิทธิภาพสูงสุดถึงประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์



เมื่อก๊าซชีวภาพถูกนำมาผลิตไฟฟ้าใน 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

❑ **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

❑ **การใช้ Boiler** โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตน้ำร้อนและไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สิ่งสำคัญที่สุดในการเลือกระบบใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพก็คือ ขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน) รูปแบบความต้องการพลังงาน และความเป็นไปได้ในการส่งพลังงานออกสู่ภายนอก ซึ่งหากมีความต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักและมีความเหมาะสมในการส่งไฟฟ้าส่วนเกินจากที่ใช้ในระบบออกสู่สายส่ง ระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่ควรจะเลือกใช้ ก็คือ Gas Engine (CHP Engine) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้เพียงพอ

สำหรับการใช้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่หากเป็นระบบขนาดใหญ่ มีความต้องการใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำเป็นหลักก็ควรพิจารณาเลือกใช้ Gas Turbine หรือ Boiler เป็นต้น

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

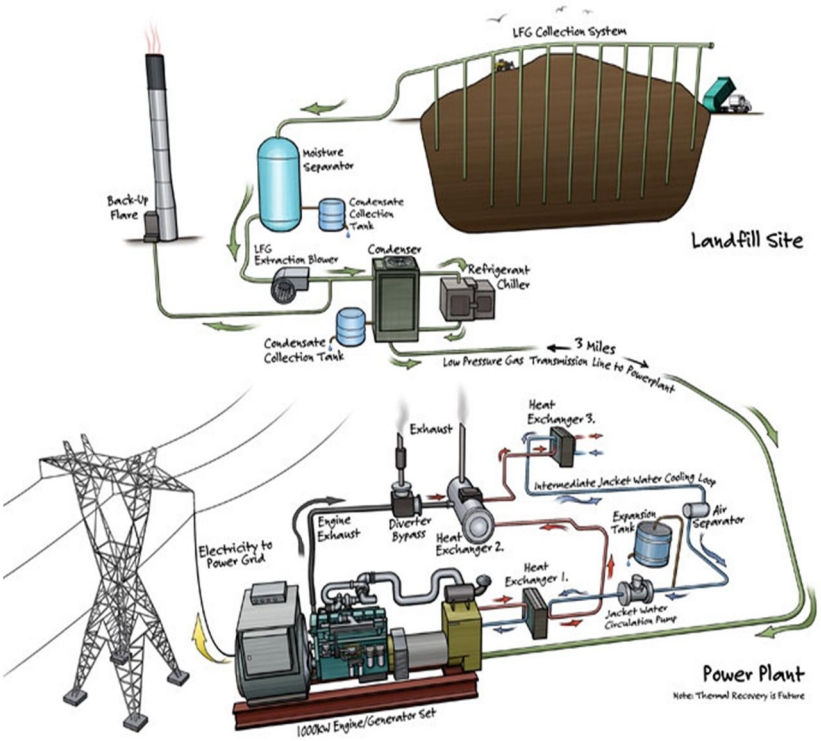
- **การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ (Vehicle Fuel)** สามารถทำได้เช่นเดียวกับการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องยนต์เดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ แต่สิ่งที่จะเป็นข้อจำกัดในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์คือคุณภาพของก๊าซซึ่งจะต้องทำการปรับปรุง (Upgrading) ก่อนนำมาใช้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

## 3.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas to Energy Technology)

การกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบนั้น เป็นการนำขยะชุมชนมากองหรือฝังกลบในพื้นที่จัดเตรียมไว้ แล้วใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะมูลฝอยยุบตัวลงจนมีความหนาแน่นของชั้นขยะมูลฝอยตามที่กำหนด จากนั้นใช้ดินบดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงนำขยะมูลฝอยชุมชนมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องกลิ่น แมลง น้ำชะขยะ และเหตุเดือนร้อนรำคาญอื่นๆ

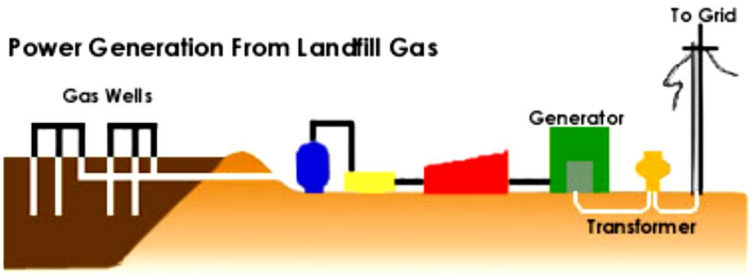
ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกฝังกลบในช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Decomposition) ซึ่งเป็นการใช้อากาศที่แทรกอยู่ตามช่องว่างภายในบริเวณฝังกลบ และเมื่อออกซิเจนที่มีอยู่หมดลง การย่อยก็จะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางเคมีของขยะมูลฝอยในบริเวณหลุมฝังกลบ ได้แก่ มีเทนคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และแอมโมเนีย โดยจะพบก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อก๊าซชีวภาพหรือ Landfill Gas (LFG)

โดยทั่วไปหากก๊าซชีวภาพที่ได้นี้มีความเข้มข้นของมีเทนมากกว่า 50% ขึ้นไป ก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานความร้อนได้โดยตรงในรูปของก๊าซดิบ (Raw Gas) ซึ่งมีค่าความร้อนปานกลาง หรือนำไปผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซ (Gas Upgrading) ก่อนนำไปใช้เพื่อให้มีค่าความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) หรือกังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) ได้อีกด้วยการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนโดยวิธีการฝังกลบนั้นเป็นวิธีที่ง่ายและใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก ปัจจุบันก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น สามารถจำแนกตามวิธีการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยได้เป็น 2 วิธี ดังนี้




### 3.2.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

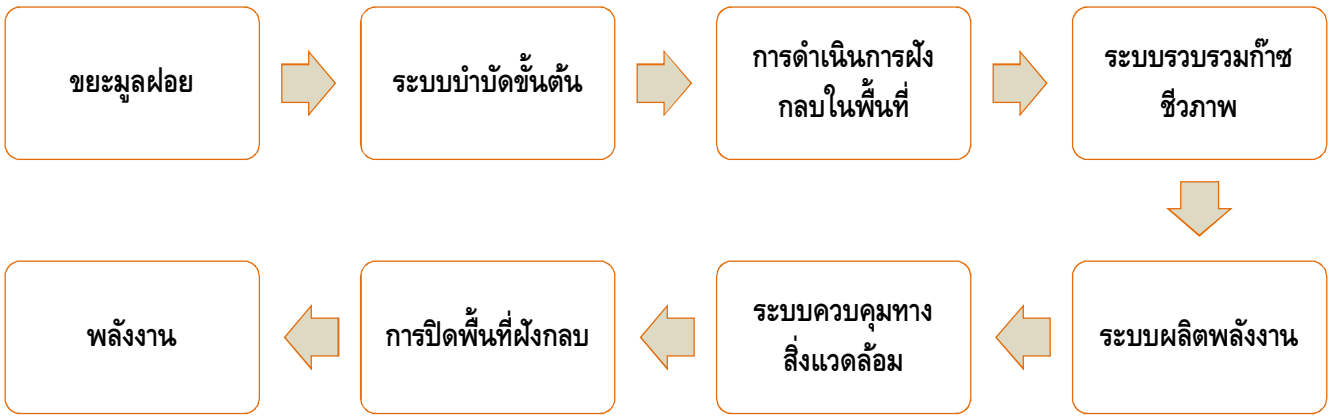
เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill หรือ Conventional Landfill) เป็นการพัฒนาและปรับปรุงระบบฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ภายในหลุมฝังกลบโดย **ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบ** ประกอบด้วย



**ตารางที่ 3-4 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 |
| ❑ **ความชื้น (Moisture Content)** | เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย โดยน้ำจะถูกนำไปใช้เป็นตัวกลางในการสร้างเซลล์หรือกระบวนการเมตตาโบลิซึมของแบคทีเรีย รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการลำเลียงอาหารและแบคทีเรียในหลุมฝังกลบมูลฝอยโดยปริมาณความชื้นในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นเริ่มต้นของขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบ ปริมาณน้ำที่ซึมจากผิวดินและน้ำใต้ดิน รวมทั้งปริมาณน้ำที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของขยะมูลฝอย |
| ❑ **สภาพความเป็นกรด (Acidity)** | เนื่องจากระบบการดำรงชีพของจุลินทรีย์เหล่านี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (วัดในรูปของความเป็นกรด) ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8-7.2 หากค่าพีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.50 จะส่งผลอัตราการผลิตก๊าซลดลงอย่างรวดเร็ว |
| ❑ **อุณหภูมิ** | เป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน พบว่า ช่วงอุณหภูมิที่มีอัตราการผลิตมีเทนสูงสุดจะอยู่ในช่วง 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



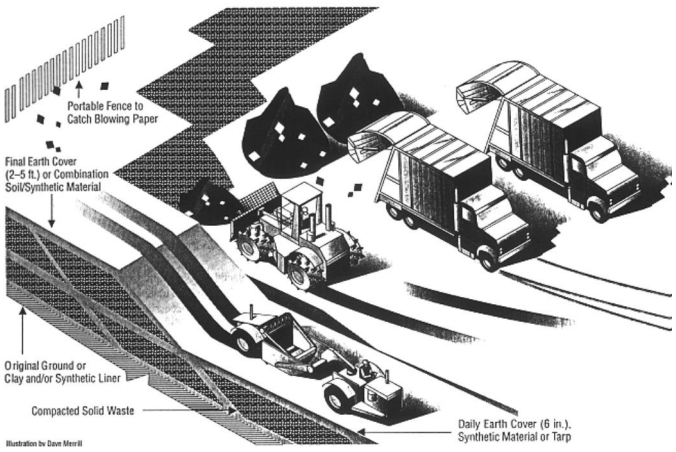

**แผนภาพการผลิตพลังงาน โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล**

หลักการดำเนินงานทั่วไปสำหรับระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ และการปิดพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล มีรายละเอียดดังนี้

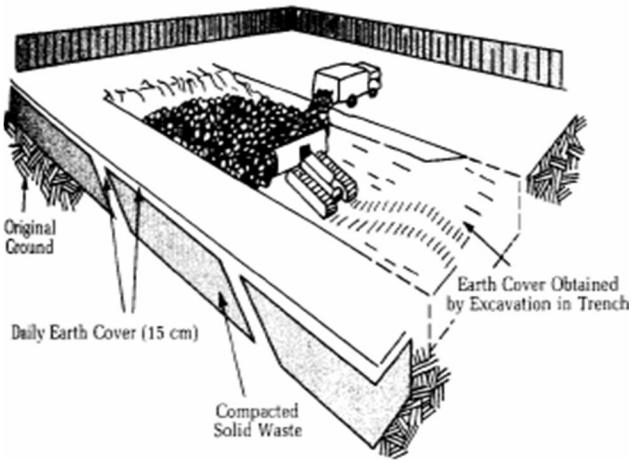
**(1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment System)** ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยชุมชนให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น ได้แก่ การคัดแยก (Sorting) การบดย่อยขยะมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลง (Shredding) ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการบำบัดขยะมูลฝอยขั้นต้นก่อนทำการฝังกลบ คือ สามารถลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน และกระตุ้นให้เกิดการทรุดตัวลงของขยะมูลฝอยได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณของขยะลดลงอย่างรวดเร็ว รวมทั้งช่วยลดระยะเวลาที่จะเกิดการปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อม ได้อีกด้วย

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

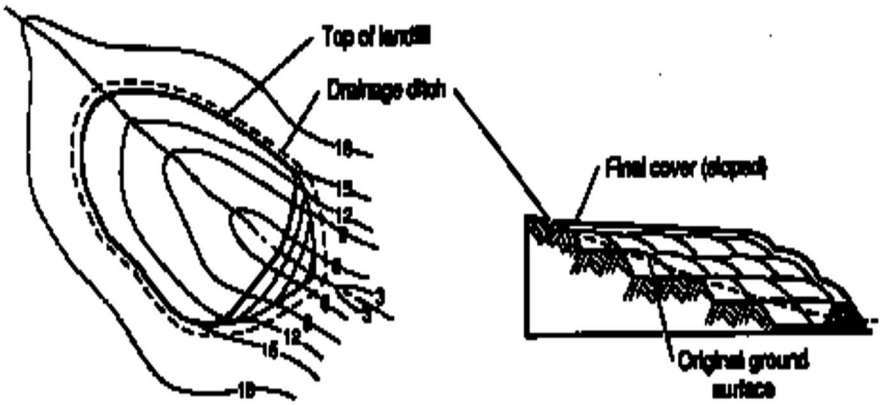
**(2.1) การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method)** เหมาะสมกับบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศไม่เหมาะที่จะขุดเป็นร่องเพื่อกำจัดขยะมูลฝอย โดยการดำเนินงานจะเป็นการเทขยะมูลฝอยและเกลี่ยเป็นแถวยาว กว้างประมาณ 3-7 เมตรไปบนพื้นที่เป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาประมาณ 0.40-0.75 เมตร แล้วอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นถัดไปแล้วอัดทับกันไปเรื่อยๆ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



**(2.2) การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method)** วิธีนี้เหมาะสมกับสถานที่ฝังกลบที่มีดินที่มีลักษณะใช้เป็นดินกลบได้ และชั้นดินมีความหนาพอสมควร โดยเริ่มจากการใช้รถขุดพื้นดินเป็นร่องยาวประมาณ 30-100 เมตร กว้าง 5-8 เมตร ลึก 2 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างของร่องเป็นเขื่อนดิน ขยะมูลฝอยจะถูกเทไปในร่องโดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 0.45-0.60 เมตร แล้วอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้ ก่อนที่จะเทขยะมูลฝอยชั้นต่อไปลงไปแล้วบดอัดใหม่เป็นชั้นทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ความสูงของชั้นขยะมูลฝอยตามต้องการ โดยการกำหนดความยาวของร่องที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในแต่ละวันควรจะให้สามารถฝังกลบฯ ได้ตามความสูงที่กำหนดพอดี ทั้งนี้จะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะให้รถขยะมาถ่ายมูลฝอยลงได้พร้อมกันด้วย เพื่อป้องกันการสูญเปล่าในการรอคิวของรถขนขยะมูลฝอย




**(2.3) การฝังกลบแบบบ่อหรือพื้นที่ลาดเอียง (Ramp Method)** วิธีการฝังกลบแบบนี้เหมาะสำหรับสถานที่ฝังกลบที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ลาดเอียงหรือเป็นหลุมบ่อขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากการขุด เช่น หุบเขาห้วย บ่อดิน บ่อเหมือง เป็นต้น เทคนิคในการทิ้งและบดอัดขยะมูลฝอยในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศของสถานที่นั้นๆ รวมทั้งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินกลบ สภาพชั้นดิน แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณนั้น และสภาพถนนทางเข้า-ออก หากสถานที่ฝังกลบมีพื้นของบ่อหรือห้วยที่ใช้เป็นพื้นที่ฝังกลบมีสภาพค่อนข้างราบ การฝังกลบในชั้นแรกอาจใช้วิธีแบบร่อง เมื่อฝังกลบในชั้นแรกเสร็จเรียบร้อยจึงเริ่มฝังกลบในชั้นถัดไป ในการฝังกลบขยะด้วยวิธีนี้ ควรให้ความสูงของชั้นฝังกลบขั้นสุดท้ายอยู่เหนือระดับพื้นดินในบริเวณข้างเคียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อมีการทรุดตัวของขยะมูลฝอยในบริเวณฝังกลบก็จะทำให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับพื้นดินบริเวณข้างเคียง



**(3) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas Collection System)**

**(3.1) รูปแบบของระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย** แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

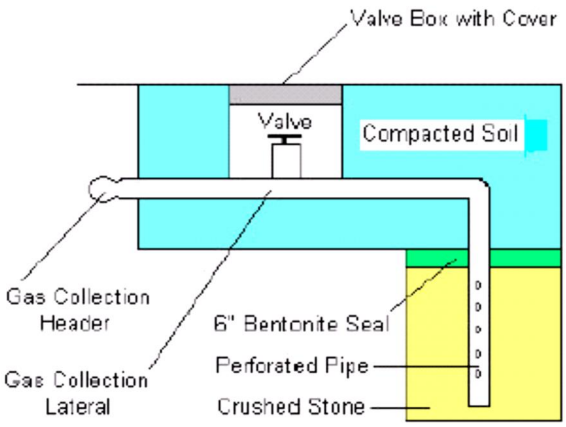
- **ระบบรวบรวมท่อแบบแนวดิ่ง** (Vertical Extraction Well) โดยการฝังท่อในแนวดิ่งเพื่อให้ก๊าซไหลเข้าท่อโดยที่ปลายด้านล่างของบ่อจะถมด้วยกรวด ท่อที่ใช้จะเป็นแท่ง PVC หรือ HDPE
- **ระบบรวบรวมท่อรวมก๊าซในแนวนอน** (Horizontal Collectors) ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการรวมก๊าซได้มากขึ้น โดยลักษณะท่อที่ใช้เป็นท่อที่เจาะรูโดยรอบ มีระยะห่างเท่ากัน หรือเป็นท่อที่มีลักษณะต่างๆ กัน แต่นำมาต่อกันเป็นท่อแขนง
- **ระบบรวบรวมก๊าซแบบผสมผสาน** (Hybrid Collection System) ระบบนี้ประกอบด้วยระบบท่อรวบรวมก๊าซในแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งจะช่วยรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**Hybrid Collection System**

**(3.2) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ** เพื่อใช้ในการควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยที่ระบายออกสู่บรรยากาศ แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

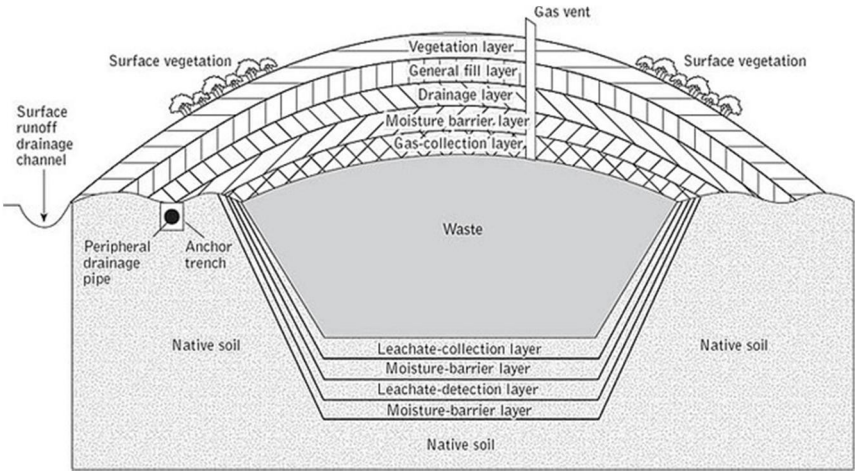
**(3.2.1) Passive System** เป็นระบบควบคุมก๊าซชีวภาพที่ง่ายที่สุด มักจะใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะขนาดเล็กหรือใช้กับสถานที่ฝังกลบมูลฝอยที่ปิดการใช้งานแล้ว (Closed Landfill Site) หรือใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในพื้นที่ฝังกลบขนาดใหญ่ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพสามารถระบายออกสู่บรรยากาศได้ดีที่สุด ในสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดเล็กหรือสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยที่ปิดการใช้ชั่วคราวบางแห่ง ก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้บางครั้งถูกระบายออกสู่บรรยากาศโดยตรงโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อนอย่างไรก็ตามควรพิจารณาการติดตั้งระบบเผาทิ้ง (Flaring) หรือการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เพื่อควบคุมการระบายก๊าซมีเทนและปัญหาเรื่องกลิ่นจากสถานที่ฝังกลบ

**(3.2.2) Active System** ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบนี้มักประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมและนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ แทนการระบายทิ้ง




ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Active System

**(3.2.3) ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย Physical Barrier** เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพแพร่กระจายออกทางผิวหน้าของหลุมฝังกลบโดยสำหรับสถานที่ฝังกลบแห่งใหม่สามารถออกแบบร่วมกับการใช้วัสดุปูพื้นหรือวัสดุธรรมชาติ ระบบรวบรวมและควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Physical Barrier เป็นระบบที่ได้ถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลมากที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมการสูญเสียก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ ควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่นได้ และสามารถลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซจากพื้นผิวหลุมฝังกลบได้ โดยการปูพื้นด้วยวัสดุรองพื้น (Lining) ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนกับ Physical barrier ช่วยป้องกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบไหลออกไปนอกระบบผ่านผิวของหลุมฝังกลบได้ รวมทั้งสามารถรวบรวมก๊าซเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้




**(4) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Gas Utilization System)**

การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นเริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่นิยมใช้ทั่วๆ ไป ได้แก่ กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ขนาดของเครื่องยนต์ที่ใช้งานมีตั้งแต่ 100 กิโลวัตต์ ขึ้นไปจนถึงหลายเมกกะวัตต์

การเลือกใช้เครื่องยนต์ในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายประการ อาทิ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ และคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ความพร้อมจ่ายของระบบผลิตไฟฟ้า ข้อกำหนดของเครื่องยนต์ในการบำบัดก๊าซเบื้องต้น

ความต้องการดูแลและรักษาระบบ ความคุ้นเคยของผู้ควบคุมระบบกับระบบที่เลือกใช้ ความยืดหยุ่นของระบบ ตลอดจนอายุการใช้งานและราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาระบบ

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

**(4.1) Local Gas Use** เป็นการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียงกันกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย โดยมีรัศมีไม่เกิน 3 กิโลเมตรจากพื้นที่โครงการ เนื่องจากจะไม่มีความคุ้มทุนในด้านของระบบส่งก๊าซ (Gas Transmission System) จากสถานที่ฝังกลบไปยังจุดที่ต้องการใช้งาน ซึ่งส่วนใหญ่จะขนส่งด้วยระบบท่อ โดยก๊าซที่ได้จากสถานที่ฝังกลบจะต้องผ่านการบำบัดก๊าซเพื่อกำจัดไอน้ำและฝุ่นละอองที่ปนอยู่ออกไปโดยใช้ระบบกรองและ/หรือระบบแยกน้ำ ก๊าซที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 35-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก๊าซนี้สามารถนำไปใช้ได้กับทั้งหม้อไอน้ำ (Boiler) 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) โดยกังหันก๊าซจึงเหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขนาดใหญ่ รวมทั้งการเดินกังหันก๊าซต้องเดินเครื่องด้วยอัตราคงที่ไม่สามารถเปิด-ปิดเครื่องตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันได้ นอกจากนี้กังหันก๊าซยังเป็นระบบที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งจ่ายให้กับระบบสายส่งอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ส่วนระบบ IC Engine นั้นเป็นระบบที่สามารถปิด-เปิดเครื่องได้อย่างง่ายดาย จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้งานภายในพื้นที่มากกว่า

**(4.3) Pipeline Injection** ในกรณีที่ไม่มีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในพื้นที่ใกล้เคียง โดยจะต้องผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซ และการอัดเพื่อเพิ่มความดันก่อนส่งผ่านไปยังท่อความดันต่อไป

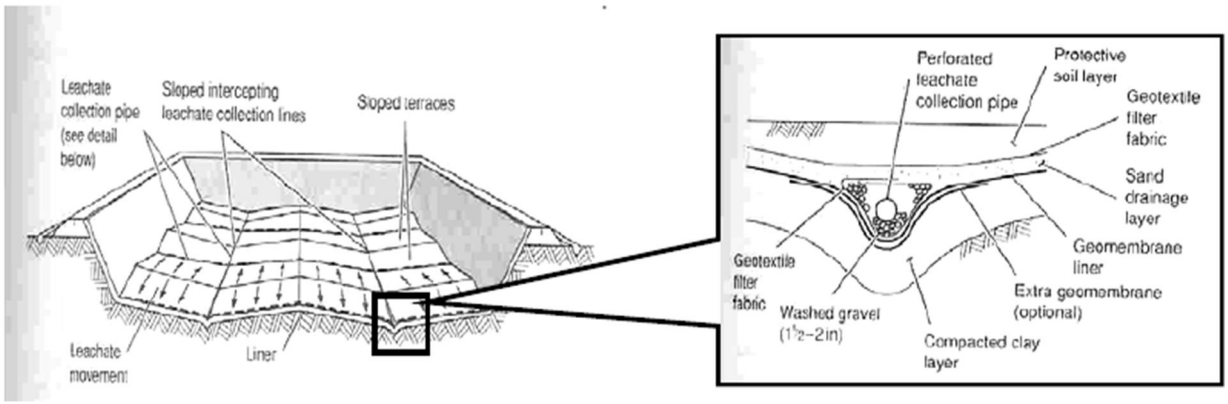
### (5) ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม

ผลที่เกิดจากการย่อยสลายขยะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพแล้วยังเกิดน้ำชะขยะขึ้นอีกด้วย โดยน้ำชะขยะจะเกิดจาก 2 ส่วน คือ จากความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในองค์ประกอบของขยะมูลฝอย และเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงที่ตกลงบริเวณหลุมฝังกลบและซึมผ่านชั้นดินกลบทับลงไปจนถึงชั้นขยะมูลฝอย ซึ่งน้ำชะขยะนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับน้ำใต้ดินตามมาได้ ดังนั้นสถานที่ฝังกลบขยะมูล

ฝอยจึงต้องมีการออกแบบระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งได้แก่ ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะ และระบบติดตามตรวจสอบน้ำใต้ดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**(5.1) ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะ** ในการจัดการระบบฝังกลบขยะมูลฝอยที่ดีจะต้องพิจารณาการควบคุมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นควบคู่ไปพร้อมกับการจัดการน้ำชะขยะด้วย โดยก๊าซควรจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ ในขณะที่น้ำชะขยะควรจะถูกเก็บกักไว้ในชั้นฝังกลบ หรือระบายออกทางด้านล่าง เพื่อนำไปบำบัดก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำต่อไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในพื้นที่ฝังกลบจะมีอยู่ 2 ทิศทาง คือการเคลื่อนที่ซึมลงสู่ด้านล่างในแนวดิ่ง และไหลออกทางด้านข้างของหลุมฝังกลบ

วิธีการควบคุมน้ำชะขยะไม่ให้ไหลซึมออกนอกพื้นที่ฝังกลบ คือการใช้วัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ยากเป็นวัสดุรองพื้นโดยรอบบริเวณฝังกลบ 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




**ลักษณะความลาดชันของพื้นหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อวางระบบรวบรวมน้ำชะขยะ**

**(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 โดยวัสดุที่ใช้ในการปิดทับชั้นฝังกลบขยะรายวันนั้นอาจเป็นดินที่ได้จากการขุดในพื้นที่ หรือนำมาจากที่อื่นก็ได้ ความหนาของชั้นดินปิดทับรายวันประมาณ 0.15-0.30 เมตร

**(6.2) การปิดชั้นฝังกลบขยะบริเวณด้านบนและด้านข้างของชั้นฝังกลบ** เพื่อกันความเสียหายเนื่องจากการขนส่งโดยรถเก็บขนขยะและสภาพภูมิอากาศ รวมถึงป้องกันการระบายก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบด้วย เรียกว่า Intermediate Cover

**(6.3) การปิดชั้นฝังกลบขั้นสุดท้าย** (Final Cover) เป็นการปิดชั้นฝังกลบเมื่อทำการฝังกลบขยะมูลฝอยจนได้ระดับที่ออกแบบไว้แล้ว เพื่อป้องกันการซึมของน้ำฝนเข้าสู่ชั้นฝังกลบและการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เมื่อทำการปิดชั้นฝังกลบขั้นสุดท้ายเสร็จสิ้นแล้วต้องมีการปลูกพืชคลุมทับอีกครั้งตามเกณฑ์มาตรฐาน

### 3.2.2 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบ Bioreactor Landfill

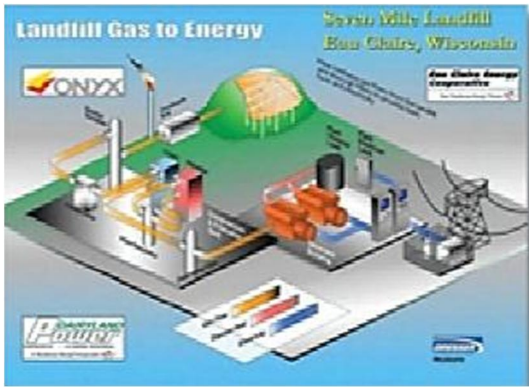
เนื่องจากระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบใช้ระยะเวลายาวนาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงแบบของการฝังกลบขึ้นในช่วงต้นๆ ของศตวรรษที่ 21 เรียกว่า Bioreactor Landfill ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้างเหมือนกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) คือ ต้องมีการปูวัสดุรองพื้น (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 กัน ก่อนบดอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ จากนั้นกลบทับด้วยดินซึ่งเป็นการปิดทับชั้นฝังกลบรายวันจนกระทั่งได้ความสูงของชั้นขยะตามที่ออกแบบ จึงปิดทับด้วยดินเป็นการปิดทับขั้นสุดท้าย (Final Cover) ซึ่งการฝังกลบแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการย่อย

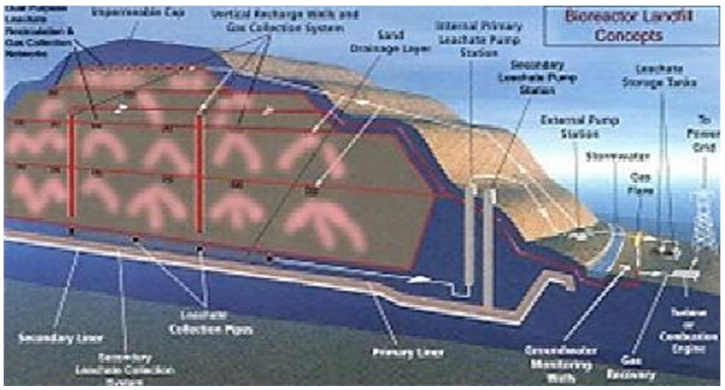
สลายนานหลายสิบปี (30-200 ปี) จึงเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนจากน้ำชะขยะได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ปูรองพื้นมีการชำรุดเสียหายตามอายุของการใช้งาน

ส่วนหลักการพื้นฐานในการออกแบบ/ดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill คือ การออกแบบและการดำเนินงานระบบแบบเฉพาะเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร ผัก-ผลไม้ กระดาษ และอื่นๆ โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสมและเติมสารอาหารที่จำเป็น (Nutrients) ให้แก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย สำหรับข้อดีนั้นนอกจากจะช่วยในการย่นระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนแล้ว ยังช่วยทำให้เกิดความเสถียรภาพของระบบได้เร็วขึ้นอีกด้วย 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

**รูปแสดงความแตกต่างระหว่างการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน**

### (1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment)

ระบบบำบัดขั้นต้นมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะชุมชนได้ดีขึ้น ช่วยลดโอกาสในการเกิดมลพิษ และช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายในพื้นที่ฝังกลบ โดยจะทำการคัดแยก (Sorting) การบด-ตัดขยะมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลง (Shredding) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้น วิธีการนี้จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน

ในการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบ Bioreactor Landfill นั้น ต้องการความหนาแน่นที่ไม่สูงมากนัก 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 โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจและการสร้างเซลล์ จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยเปลี่ยนไปให้เป็นพลังงานและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในระบบฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Aerobic Biroreactor Landfill นี้ จะมีการเติมอากาศเข้าไปในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ผลที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิตแทนมีเทน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จนเข้าสู่สภาวะเสถียรจะใช้เวลาน้อยกว่า 2 ปี

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

ประเภทของ Bioreactor Landfill

(2.3) Facultative Bioreactor Landfill เป็นระบบผสมผสานระหว่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กับกลไกการควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำชะขยะหมุนเวียน โดยน้ำชะขยะที่เกิดจากชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงจะถูกบำบัดด้วย

ในระบบฝังกลบขยะแบบ Facultative Biroreactor นี้ ต้องมีปริมาณความชื้นอย่างเพียงพอที่จะทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำชะขยะหมุนเวียนหรือในรูปของของเหลวอื่นๆ เช่น ตะกอนของจุลินทรีย์ (Sewage Sludge) หรือน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น 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 โดยก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ

### (3) ระบบรวบรวมและควบคุมน้ำชะขยะ (Leachate Collection and Controls)

น้ำชะขยะที่เกิดขึ้นจะไหลซึมผ่านขยะมูลฝอยและชะละลายสารต่างๆ ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยปนออกมากับน้ำชะขยะ ซึ่งรวมถึงสารที่มีโอกาสเป็นสารอันตรายได้ ลักษณะคุณสมบัติของน้ำชะขยะนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบและปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยปริมาณน้ำชะขยะที่ไหลออกจากหลุมฝังกลบขยะนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย

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 ปัจจัย คือ 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 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในชั้น

ฝังกลบขยะมูลฝอย เนื่องจากในระยะแรกของการฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น น้ำชะขยะจะมีค่าความเข้มข้นของสารต่างๆ สูง เช่น ค่าของแข็งละลาย (TDS) บีโอดี ซีโอดี และปริมาณโลหะหนัก การหมุนเวียนน้ำชะขยะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี ที่ทำให้มีการบำบัดบีโอดีที่ดีขึ้น และยังเป็นการเพิ่มสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วย นอกจากประโยชน์ในข้างต้นแล้ว น้ำชะขยะที่หมุนเวียนกลับมาใส่ในชั้นฝังกลบนี้ยังช่วยเพิ่มค่าความชื้น ซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสารอาหารและจุลินทรีย์ในระบบให้มีความสม่ำเสมอทั้งชั้นฝังกลบอีกด้วย น้ำชะขยะที่รวบรวมได้จากหลุมฝังกลบขยะจะถูกนำไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนหมุนเวียนเข้าสู่หลุมฝังกลบขยะโดยผ่านระบบท่อหมุนเวียน

**ลักษณะของ Surface Pond ที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะขยะ**

**รูปแบบการหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับสู่ชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย**

### (4) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ

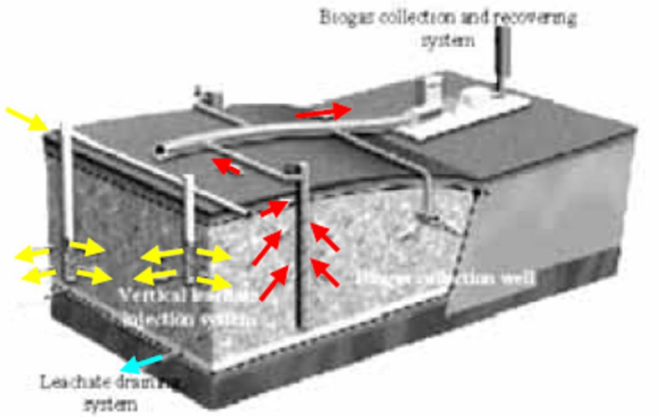
ระบบรวบรวมก๊าซที่ใช้โดยทั่วไป ประกอบด้วย ท่อรวบรวมก๊าซในแนวตั้ง (Vertical Wells) ซึ่งจะก่อสร้างเมื่อปิดการใช้งานหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ท่อรวบรวมก๊าซในแนวตั้งนี้จะมีลักษณะคล้ายกับท่อที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน มีลักษณะที่เป็นท่อรูพรุน (Perforated Pipe) โดยจะล้อมรอบท่อด้วยวัสดุที่มีความพรุน (Permeable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

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยจะไหลผ่านเข้าสู่ท่อรวบรวมก๊าซ โดยอาศัยความแตกต่างของความดันระหว่างความดันภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยกับความดันบรรยากาศ (Passive Venting) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรวบรวมก๊าซที่ไม่สูงนัก ดังนั้นเทคนิคการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะโดยใช้ระบบสุญญากาศจึงถูกนำมาใช้ทดแทน โดยระบบนี้จะวางท่อรวบรวมก๊าซมีลักษณะเป็นโครงข่าย (Pipe Network) ซึ่งจะต่อเข้ากับพัดลมดูดอากาศ (Blower) โดยพัดลมดูดอากาศจะทำให้เกิดสภาพสุญญากาศในระบบท่อรวบรวมก๊าซและภายในบ่อ และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของก๊าซจากชั้นฝังกลบขยะเข้าสู่ระบบท่อรวบรวมก๊าซ เรียกระบบนี้ว่าเป็นระบบรวบรวมก๊าซแบบ Active Collection System ข้อดีของระบบนี้ คือ สามารถดึงก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงทำให้มีก๊าซที่ระเหยออกจากหลุมฝังกลบไปในบรรยากาศในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามระบบรวบรวมก๊าซโดยวิธี Active Collection System นี้อาจทำให้อากาศไหลเข้าภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยได้ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนหยุดชะงักลง รวมทั้งอาจทำให้เกิดปัญหาไฟไหม้สถานที่ฝังกลบขยะ

### (5) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

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

การใช้ประโยชน์จากก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือแบบ Bioreactor Landfill จะมีหลักการและระบบที่เหมือนกัน คือ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct Use) การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ เป็นต้น หลักในการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย Bioreactor Landfill สามารถสรุปได้ดังนี้




**รูปแสดงหลักการในการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจาก Bioreactor Landfill**

### 3.2.3 สรุปการใช้พลังงานด้วยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ

การใช้พลังงานด้วยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 3-4 และรูปแบบที่เป็นไปได้สำหรับการใช้ประโยชน์ในตารางที่ 3.5

**ตารางที่ 3-4 สรุปการใช้พลังงานด้วยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ**

| การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ | รายละเอียด |
|---|---|
| 1. Internal Combustion Reciprocation Engines | ➢ ใช้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบ มีการใช้งานกันมากในสหรัฐอเมริกา |
| 2. Medium Btu Fuel | ➢ ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม เตาเผากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และใช้ในการให้ความอบอุ่นกับอาคารบ้านเรือน<br>➢ ข้อดีคือมีค่าติดตั้งและค่าดำเนินการและบำรุงรักษาที่ค่อนข้างต่อเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางที่จะวางระบบท่อขนส่งก๊าซไปยังผู้ใช้ซึ่งควรมีระยะทางไม่เกิน 1 ไมล์ |
| 3. เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง (High Btu Fuel) | ➢ โดยการนำก๊าซชีวภาพไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อแยกก๊าซที่ไม่ต้องการออกไปและได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถบรรทุกรถบัสและยานพาหนะอื่นๆ หรือใช้ในภาคอุตสากรรม หรือส่งเข้าระบบท่อก๊าซธรรมชาติ |
| 4. Microturbine | ➢ มีลักษณะเป็น Gas Turbine Generator ขนาดเล็กที่ผลิตกระแสไฟฟ้าแทน IC Engine หรือ GCT |
| 5. Combined Cycle Plant (CCP) | ➢ ประกอบด้วย Gas CombustionTurbine (GCT) ตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป และ Hot Exhaust Gas ที่ต่อกับ Heat Recovery Steam Generator (HRSG) โดยไอน้ำคามดันสูงจาก HRSG จะถูกใช้ในการขับเคลื่อน Steam Turbine Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า |
| 6. Fuel Cells | ➢ ใช้หลักการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ และนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในกระบวนการ Catalytic และใช้ Fuel Cells หลายๆ หน่วยมาผลิตกระแสไฟฟ้า |

การพิจารณาการนำก๊าซ LFG ไปใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของก๊าซ LFG ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของขยะที่นำมาฝังที่หลุมฝังกลบ, ความหนาของหน้าดินกลบ และประสิทธิภาพในการดูดก๊าซขึ้นมาจากหลุมฝังกลบ จากการรายงานของ USEPA (1996) ได้สรุปความสัมพันธ์ของความเหมาะสมในการเลือกเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์ของก๊าซ LFG กับจำนวนขยะต่อหน่วยพื้นที่ไว้ในตารางที่ 3-5

**ตารางที่ 3-5 รูปแบบที่เป็นไปได้สำหรับการใช้ประโยชน์จาก LFG**

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

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

ระบบผลิตพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบเป็นการนำขยะชุมชนทั้งหมดมากำจัดด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanirary Landfill) พร้อมติดตั้งระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas) ซึ่งอาจจะเพิ่มเติมระบบปรับปรุงคุณภาพของก๊าซที่ได้เพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยทั่วไปวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลจะก่อให้เกิดมลภาวะส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำชะขยะ (Leachate) การปลิวของขยะและกลิ่นเหม็นรบกวนจากกองขยะ รวมทั้งไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตพลังงานจากขยะโดยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล และมาตรการป้องกัน ได้ดังนี้

| | |
|---|---|
| น้ำชะขยะ (Leachate) | มาตรการควบคุมป้องกันน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นในสถานที่ฝังกลบ ได้แก่ การใช้วัสดุสังเคราะห์ HDPE ปูพื้นก้นหลุมฝังกลบ รวมทั้งการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ประกอบไปด้วยระบบรวบรวม (collection System) และระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System) ซึ่งระบบรวบรวมน้ำเสียจะทำการจัดวางในชั้นล่างสุดของชั้นขยะกลบ (Lowest Lift) เพื่อรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของขยะและส่งไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งการเลือกรูปแบบระบบรวบรวมและระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ราคาและความกว้างของที่ดิน ความชำนาญของผู้ดำเนินการ เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น แบบบ่อบำบัดตามธรรมชาติ (Facultative Pond) หรือ Muturation Pond) เป็นต้น ก่อนที่จะระบายทิ้งหรือนำกลับไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ |
| กลิ่นเหม็นรบกวน | เกิดจากอินทรีย์สารที่เน่าเปื่อยและย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในขยะมูลฝอย มาตรการควบคุมป้องกันที่ปฏิบัติโดยทั่วไป จะใช้วัสดุดินกลบทับเป็นประจำทุกวันหลังเสร็จการปฏิบัติงาน เพื่อควบคุมป้องกันการแพร่กำจัดหรืออย่างน้อยควรปลูกในแนวที่ลมผ่าน และเข้มงวดในการถมขยะที่บดอัดแล้วให้เรียบร้อยในแต่ละวัน นอกจากนี้อีกแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาด้านกลิ่น คือ การนำเอาเชื้อจุลินทรีย์มาเพาะเลี้ยงแล้วฉีดสเปรย์ในบริเวณกองขยะที่ทำการฝังกลบจะช่วยลดกลิ่นให้น้อยลงได้ ทั้งนี้เพราะจุลินทร์สามารถยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟล์ได้ จึงทำให้ปริมาณการเกิดก๊าซและกลิ่นลดน้อยลง |
| ไอเสีย (Exhaust gas) | เป็นอากาศเสียที่เกิดจากการทานของเครื่องยนต์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีการติดตั้งระบบควบคุมอากาศเสียในรูปของ CO และ NOx ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของราชการ |
| เสียงรบกวน | เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ สามารถควบคุมได้โดยติดตั้งภายในห้องควบคุมที่ออกแบบมาโดยเฉพาะให้เกิดเสียงดับรบกวนสู่ภายนอกน้อย |
| การป้องกันขยะปลิว | ในพื้นที่ปฏิบัติงานแต่ละวันควรจัดให้มีมาตรการป้องกันขยะปลิวเพราะจะทำให้ทัศนียภาพบริเวณกำจัดไม่น่าดูและอาจเป็นการแพร่เชื้อโรคได้ อาจทำได้โดยการจัดรั้วเป็นตาข่ายแบบโยกย้าย (Movable Fence) โดยควรติดตั้งรั้วตาข่ายทางด้านท้ายลมและควรทำรั้วสูงประมาณไม่น้อยกว่า 3 เมตร |

# บทที่ 4

# เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ

## 4.1 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF)

การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน

เนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะมูลฝอย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชนและตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบโรงเผาและผู้ปฏิบัติและควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ยาก การแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอยเพื่อทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้ ซึ่งเชื้อเพลิงขยะที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้

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

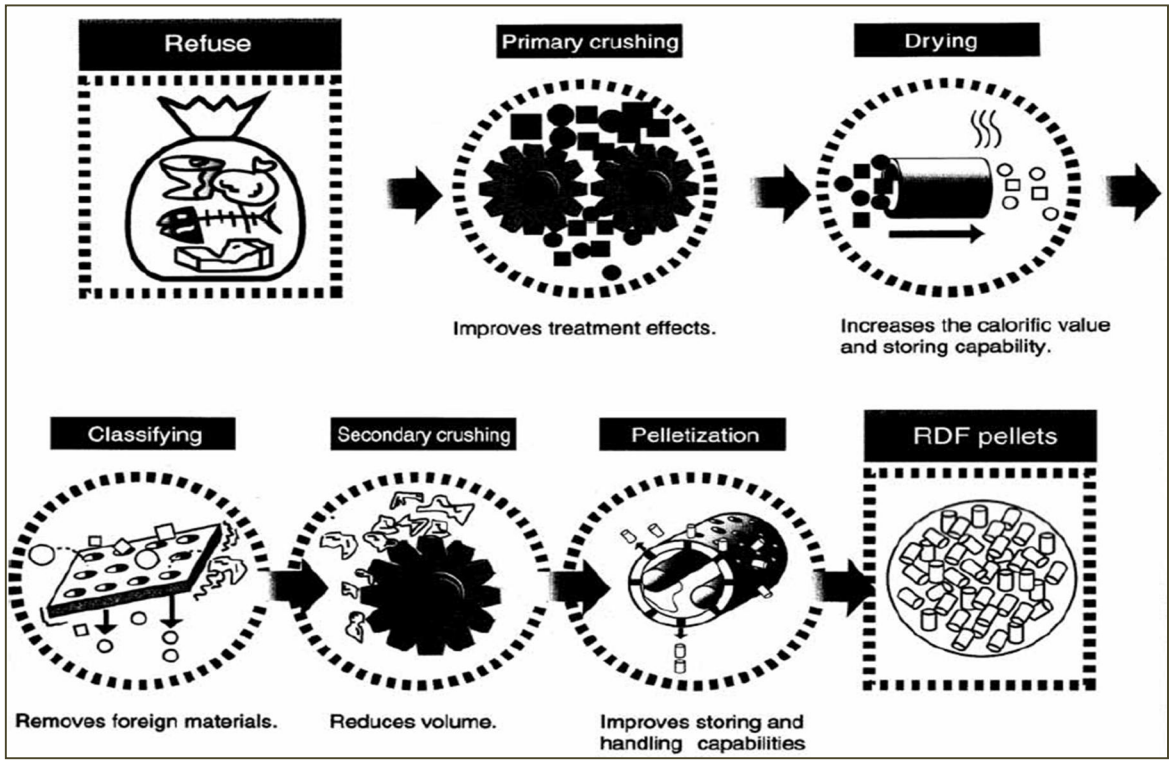
**ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้**

| ชนิด | กระบวนการการจัดการ | ระบบการเผาไหม้ |
|---|---|---|
| RDF 1 : MSW | คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือรวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่ | Stoker |
| RDF 2 : Coarse RDF | บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ | FBC, MFC |
| RDF3 : Fluff RDF | คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะแก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว | Stoker |
| RDF 4 : Dust RDF | ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น | FBC, PF |

| ชนิด | กระบวนการการจัดการ | ระบบการเผาไหม้ |
|---|---|---|
| RDF 5: Desnsified RDF | ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/$m^3$ | FBC, MFC |
| RDF 6: RDF Slurry | ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry | Swirl burner |
| RDF 7 : RDF Syngas | ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้ | Burner, IGCC |

## 4.2 การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ

เพื่อที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้น จำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการไม่ว่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ กระบวนการการจัดการทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) การคัดแยกที่แหล่งกำเนิด 2) การคัดแยกด้วยมือหรือเครื่องจักร 3) การลดขนาด 4) การแยกขนาด 5) การผสม 6) การทำให้แห้งและการอัดแท่ง และ7) การบรรจุและการเก็บ




**รูปแสดงขั้นตอนในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ**

ขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับว่ามีการจัดการขยะอย่างไร ตัวอย่างเช่น ถ้าขยะได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จากแหล่งกำเนิดก่อนอยู่แล้ว ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงก็อาจจะไม่จำเป็นที่จะมีขั้นตอนการคัดแยกโลหะหรือแก้วก็ได้ โดยทั่วไปขยะจะถูกนำมาคัดแยกส่วนที่นำไปกลับใช้ซ้ำได้ (เช่น โลหะ และแก้ว) และอินทรีย์สาร (เช่น เศษอาหาร) ที่ซึ่งมีความชื้นสูงส่วนประกอบนี้สามารถนำไปใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) ส่วนประกอบที่เหลือจะถูกนำไปลดขนาด ส่วนใหญ่

ประกอบด้วย กระดาษ เศษไม้ พลาสติก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรงในรูปของ Coarse RDF หรือนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการอัดแท่งเพื่อผลิตเป็น Densified RDF การเลือกพิจารณาว่าจะใช้เชื้อเพลิงขยะในแบบชนิดไหนขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของระบบการเผาไหม้ สถานที่ที่ตั้งระหว่างที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะและสถานที่ที่ใช้งาน

## 4.3 ปริมาณและคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะ

ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะ 1 ตัน ขึ้นอยู่กับการจัดเก็บขยะกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะ และคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะที่นำมาแปรรูป วิธีการจัดเก็บ และกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป คุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูปแล้ว ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณซัลเฟอร์และคลอไรด์ ตัวอย่างคุณลักษณะของขยะและ RDF ที่ได้จากการแปรรูปขยะ

**ตารางที่ 4-1 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 |
| Calofific Value | | | | | |
| LHV (kJ/kg) | 9,736.17 | 14,805.25 | HHV (kJ/kg) | 21,894.33 | 21,306.77 |

***จะเห็นได้ว่าความชื้นใน RDF ลดลงอย่างมาก (~50%) เมื่อเปรียบเทียบกับขยะก่อนที่จะนำมาแปรรูป ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นด้วย***

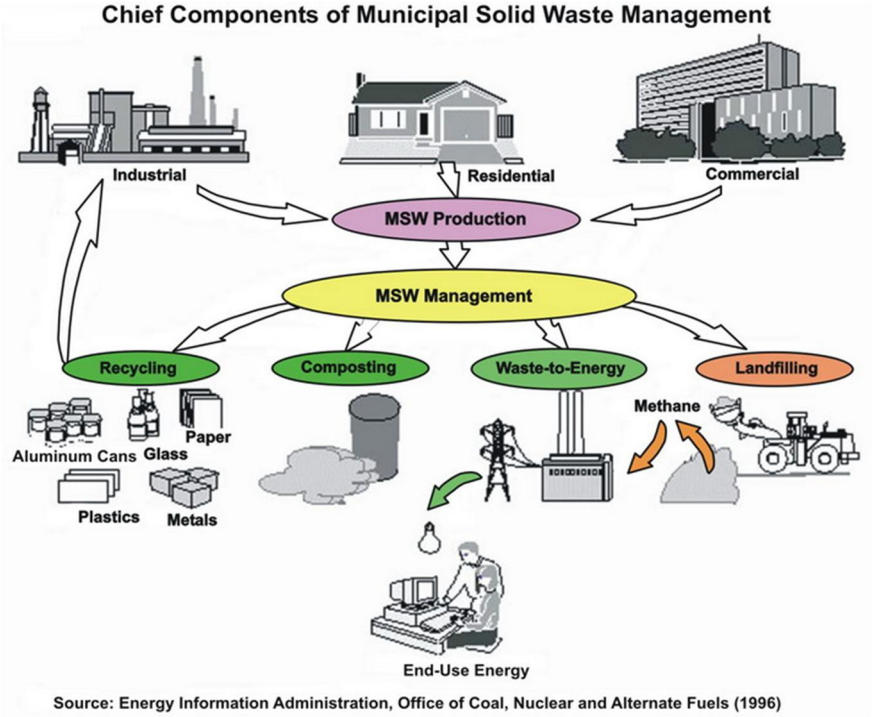
## 4.4 วิธีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ

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

# บทที่ 5
# ความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีมาใช้สำหรับประเทศไทย

จากรายละเอียดของเทคโนโลยีที่แสดงในบทที่ 2 – 4 นั้น การประยุกต์ใช้งาน Bioreactor Landfill ในประเทศไทยปัจจุบันมีความเป็นไปได้น้อย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีค่าลงทุนสูงกว่าการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล นอกจากนี้ยังมีการดำเนินงานระบบค่อนข้างซับซ้อนและต้องการผู้ออกแบบและผู้ควบคุมการดำเนินงานที่มีความรู้ความชำนาญ รวมถึงต้องการระบบการติดตามตรวจสอบทั้งทางด้านการดำเนินงานระบบ เช่น การดำเนินงานฝังกลบ การบดอัดขยะมูลฝอยในพื้นที่ การตรวจสอบปัจจัยต่างๆ และทางด้านสิ่งแวดล้อมสูง ได้แก่ ความชื้นในระบบ ความดัน อุณหภูมิ การทรุดตัวของชั้นขยะมูลฝอย ปริมาณน้ำชะขยะและปริมาณก๊าซชีวภาพ น้ำชะขยะและลักษณะสมบัติของก๊าซที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ในอนาคตข้างหน้าเทคโนโลยีนี้อาจถูกนำมาพิจารณาแทนสถานที่ฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลได้ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยน้อยกว่าจึงทำให้โอกาสที่จะเกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ จากการฝังกลบขยะมูลฝอยลดลง รวมทั้งช่วยย่นระยะเวลาในการฟื้นฟูสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยอีกด้วย ในปัจจุบันเทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะที่นิยมใช้มีหลายเทคโนโลยีด้วยกัน โดยมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน ดังนี้




**ตารางที่ 5-1 แสดงรายละเอียดเทคโนโลยีผลิตพลังงานขยะ**

| เทคโนโลยี | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 1. เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration) | • มีความยืดหยุ่นต่อประเภทของขยะสูง สามารถเผาทำลายขยะได้หลากหลายประเภทในเวลาเดียวกัน<br>• ลดมวลและปริมาตรได้มาก<br>• เวลากำจัดสั้น<br>• ผลิตพลังงานได้มาก | • เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน และบำรุงรักษาสูง<br>• ขนาดของโรงกำจัดที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ควรมีกำลังการกำจัดไม่ต่ำกว่า 250 ตันต่อวัน<br>• เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง ยังไม่สามารถ |

| เทคโนโลยี | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| | • ใช้พื้นที่ระบบน้อย | พัฒนาเทคโนโลยีได้เองในประเทศ |
| 2. เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion, AD) | • เป็นเทคโนโลยีสะอาด<br>• องค์ประกอบขยะในประเทศมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูง<br>• เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้เอง ในประเทศ | • ต้องส่งเสริมให้มีการแยกขยะอินทรีย์จากต้นทาง<br>• ควรพัฒนาสายพันธ์จุลินทรีย์ที่ให้ gas yield สูงและทนทานสภาพสิ่งแวดล้อมได้ดี<br>• ควรสร้างตลาดให้กับสารปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อเพิ่มรายได้ให้ระบบ |
| 3. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy) | • หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยมีอยู่แล้วจำนวนมากเทคโนโลยีนี้จะช่วยลดการปล่อยมีเทนขึ้นสู่บรรยากาศ<br>• ลดความเสี่ยงในการระเบิดหรือเพลิงไหม้บริเวณฝังกลบ<br>• เทคโนโลยีไม่ซับซ้อนมากนัก สามารถพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นเองได้ในประเทศ | • ต้องมีปริมาณขยะในหลุมฝังกลบมากกว่า 1 ล้านตัน จึงจะเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ<br>• การพยากรณ์อัตราเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ยากต่อการพยากรณ์<br>• องค์ความรู้ยังไม่แพร่หลาย |
| 4. เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel) | • เป็นเทคโนโลยีสะอาด<br>• ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีไพโรไลซิส / ก๊าซซิฟิเคชั่น<br>• โรงกำจัดมีขนาดเล็ก สามารถสร้างกระจายตามจุดต่างๆ ณ แหล่งกำเนิดขยะ<br>• เชื้อเพลิงที่ได้ไม่จำเป็นต้องผลิตพลังงานทันที เก็บไว้ผลิตเมื่อใดก็ได้<br>• ใช้พื้นที่ระบบน้อย<br>• เทคโนโลยีสามารถพัฒนาได้เองในประเทศ | • ไม่เป็นระบบกำจัดที่เบ็ดเสร็จในตัวเอง ยังต้องการระบบกำจัดขั้นสุดท้าย<br>• ยังขาดข้อมูลโรงงานกำจัดที่มีการเดินระบบในเชิงพาณิชย์<br>• ยังไม่มีตลาดการซื้อขายเชื้อเพลิงจากขยะ |
| 5. เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) | • เป็นเทคโนโลยีสะอาด<br>• ลดมวลและปริมาตรได้ดี<br>• เวลากำจัดสั้น<br>• ผลิตพลังงานได้มาก<br>• ใช้พื้นที่ระบบน้อย | • ต้องมีการจัดการขยะเบื้องต้นก่อน (เช่น การทำ RDF)<br>• เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูง<br>• ยังขาดข้อมูลโรงกำจัดที่มีการดำเนินงานในเชิงพาณิชย์ |

| เทคโนโลยี | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| | | • เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง |
| 6. เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) | • ให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงมาก สามารถใช้ในการเผาทำลายขยะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ<br>• ขี้เถ้าที่เกิดจากกระบวนการจะเปลี่ยนสภาพเป็น slag ซึ่งสารอันตรายที่เกิดขึ้นในขี้เถ้าจะถูกจับอยู่ใน slag ทำให้หมดความเป็นพิษ | • ใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูง<br>• สถานภาพของเทคโนโลยีในปัจจุบันยังอยู่ในขั้นเครื่องต้นแบบ ยังไม่มีข้อมูลยืนยันโรงงานที่ดำเนินการในเชิงพาณิชย์ |
| 7. เทคโนโลยีการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง | • เชื้อเพลิงอยู่ในสถานะของเหลวทำให้สะดวกและประหยัดค่าขนส่ง<br>• เชื้อเพลิงที่ได้ไม่จำเป็นต้องผลิตพลังงานทันที เก็บไว้ผลิตเมื่อใดก็ได้<br>• ใช้พื้นที่ระบบน้อย<br>• เทคโนโลยีสามารถพัฒนาได้เองในประเทศ | • ต้องมีการคัดแยกประเภทของขยะพลาสติก<br>• ต้องมีระบบทำความสะอาดขยะพลาสติก |

## 5.1 การสรุปเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน

สรุปผลการศึกษาการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชนแยกรายเทคโนโลยี ประกอบด้วย 1) Incinertor 2) Gasification 3) Anaerobic Digestion 4) Landfill Gas to Energy และ 5) Refuse Derived Fuel ในรายการต่างๆ ได้แก่

(1) ลักษณะของขยะชุมชนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานฯ โดยใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภทและความยืดหยุ่นของเทคโนโลยีต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

(2) พลังงานที่ผลิตได้ พลังงานที่ใช้ และพลังงานสุทธิที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ

(3) ผลพลอยได้อื่นๆ จากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานฯ จากขยะชุมชน

(4) ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และต้นทุนในการกำจัดกาก

(5) ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ

(6) ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภททางด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

(7) ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ และข้อกำหนดเฉพาะของบุคลากรควบคุมระบบ

(8) ระดับของการพัฒนาเทคโนโลยี และการยอมรับของเทคโนโลยี

### 5.1.1 Incineration

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Incineration |
|---|---|
| (1) ลักษณะขยะชุมชนที่เหมาะสมและความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย | เทคโนโลยีการเผาไหม้แบบ Mass Burn นั้นสามารถเผาทำลายขยะได้ทุกประเภท ส่วนที่เผาไหม้คือขยะมูลฝอยอินทรีย์ ส่วนอื่นจะออกมาพร้อมกับขี้เถ้าซึ่งสามารถคัดแยกออกเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ ข้อจำกัดที่สำคัญต่อการใช้งานระบบเตาเผา คือค่าความร้อนของขยะมูลฝอย ซึ่งต้องไม่ต่ำเกินไป และค่าความชื้นที่ต้องไม่สูงเกินไป ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าหากขยะมูลฝอยมีเกณฑ์สูงกว่าค่าที่กำหนดแล้วจะทำงานไม่ได้ แต่หมายถึงอาจต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมช่วยการเผาไหม้ และระบบก็ยังสามารถปฏิบัติงานได้ตามปกติ ในส่วนองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศหรือลักษณะชุมชนนั้น ไม่มีผลต่อการปฏิบัติงานของเตาเผาเท่าใดนัก |
| (2) พลังงานที่ผลิตได้ พลังงานที่ใช้และพลังงานสุทธิที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ | |
| (2.1) พลังงานที่ผลิตได้จากระบบ | โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของขยะมูลฝอยที่เข้าเตาเผา หากขยะมูลฝอยมีค่าความร้อน 6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และผลิตพลังงานในรูปพลังงานไฟฟ้าจะให้กำลังประมาณ 0.58 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน แต่หากค่าความร้อนสูงถึง 10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จะผลิตไฟฟ้าได้ถึง 0.97 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน |
| (2.2) พลังงานที่ใช้ในระบบ | ระบบต้องการพลังงานเพื่อใช้กับตัวระบบเองในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยใช้กับระบบคัดแยกขยะ ระบบป้อนขยะ ระบบเตาเผา ระบบควบคุมมลพิษอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่เลือกใช้ แต่โดยทั่วไปจะมีความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในระบบประมาณร้อยละ 20-40 ของพลังงานที่ผลิตได้ |
| (2.3) พลังงานสุทธิที่ได้จากระบบ | ขึ้นอยู่กับข้อ (2.1) และ (2.2) |
| (3) ผลพลอยได้อื่นๆจากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานฯ จากขยะชุมชน | ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของขยะมูลฝอยส่วนที่ไม่สามารถเผาได้ในรูปของเหล็ก อลูมิเนียม ซึ่งจะไม่หลอมละลายสามารถคัดแยกเพื่อนำกลับไปผ่านกรรมวิธีการผลิตใหม่ได้ |
| (4) ต้นทุนในการติดตั้งระบบและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และต้นทุนในการกำจัดกาก | ต้นทุนการติดตั้งและเดินระบบของเตาเผาขยะมูลฝอยว่าขึ้นอยู่กับความสามารถในการกำจัดขยะมูลฝอยเทคโนโลยีและอุปกรณ์ประกอบของระบบ โดยเฉพาะระบบควบคุมมลพิษอากาศซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามมาตรฐานการปล่อยมลพิษ |

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Incineration |
|---|---|
| | อากาศ |
| (4.1) ต้นทุนในต่างประเทศ | จากข้อมูล World Bank พบว่า สำหรับเตาเผาขยะที่มีความสามารถในการกำจัดวันละ 1,000 ตัน จะใช้เงินลงทุนประมาณ 150,000 เหรียญสหรัฐต่อตันขยะที่กำจัด และหากความสามารถในการกำจัดเพิ่มขึ้นเป็นวันละ 2,500 ตัน จะใช้เงินลงทุนประมาณ 120,000เหรียญสหรัฐต่อตันขยะที่กำจัด |
| (4.2) ต้นทุนในประเทศไทย | ข้อมูลระบบเตาเผาขยะที่ใช้ในประเทศไทย คือเทศบาลนครภูเก็ต ซึ่งสามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้วันละ 250 ตัน จะใช้เงินลงทุนประมาณ 750 ล้านบาท |
| (5) ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ | โดยอ้างอิงระบบเตาเผาของเทศบาลนครภูเก็ตซึ่งสามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้วันละ 250 ตัน จะใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบหลักและอุปกรณ์ประกอบประมาณ 43,000 ตารางเมตร |
| (6) ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภททางด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน | |
| (6.1) ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะมูลฝอย | ผลกระทบหลักได้แก่มลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ซึ่งได้แก่ มลพิษอากาศและโลหะหนักที่อยู่ในขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบดังกล่าวสามารถป้องกันและแก้ไขได้ |
| (6.2) ทางด้านพลังงาน | เป็นเทคโนโลยีผลิตพลังงาน |
| (7) ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ และข้อกำหนดเฉพาะของบุคลากรควบคุมระบบ | |
| (7.1) วิธีการควบคุมระบบ | สามารถควบคุมได้ทั้งแบบอัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติ และใช้แรงงานคน |
| (7.2) ข้อกำหนดเกี่ยวกับบุคลากรที่ควบคุมระบบ | ต้องการบุคลากรควบคุมระบบระดับช่างเทคนิคขึ้นไปซึ่งได้รับการฝึกปฏิบัติงานมาก่อนแล้วเป็นอย่างดี |
| (8) ระดับของการพัฒนาเทคโนโลยีและการยอมรับของเทคโนโลยี | เป็นระบบการผลิตพลังงานจากของเสียซึ่งมี Reference มากที่สุด เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น |

### 5.1.2 Gasification

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Gasification |
|---|---|
| (1) ลักษณะขยะชุมชนที่เหมาะสมและความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย | ระบบ สามารถใช้บำบัดขยะรวมได้ แต่โดยทั่วไปจำ เป็นต้องมีการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนเข้ากระบวนการ พร้อมกับต้องมีการจัดการเบื้องต้นก่อน ได้แก่ การลดขนาด การลดความชื้น และการผสมกันของขยะมูลฝอย เพื่อให้ได้องค์ประกอบที่มีความเป็น<br>เนื้อเดียวกันมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ |
| (2) พลังงานที่ผลิตได้ พลังงานที่ใช้และพลังงานสุทธิที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ | |
| (2.1) พลังงานที่ผลิตได้จากระบบ | พลังงานที่ผลิตได้จะมาจากก๊าซที่ได้จากกระบวนการซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิง โดยมีองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่ CO $H_2$ และ $CH_4$ ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงนี้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของระบบที่เลือกใช้ องค์ประกอบของขยะมูลฝอยและการทำงานของระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจะเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งจำเป็นจะต้องมีการวิจัยและทดสอบถึงปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นสำหรับองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่แตกต่างกัน |
| (2.2) พลังงานที่ใช้ในระบบ | เนื่องจากกระบวนการ Gasification นั้น เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความร้อนเพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่พลังงานเข้าไปในระบบ โดยทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ตัวขยะมูลฝอยเองบางส่วนเพื่อให้พลังงานความร้อนออกมาหรือใช้ไอน้ำมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อน นอกจากนี้ยังต้องมีการใช้พลังงานเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบทำงานประมาณ 10% ของพลังงานที่ผลิตได้ |
| (2.3) พลังงานสุทธิที่ได้จากระบบ | |
| (3) ผลพลอยได้อื่นๆจากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานฯ จากขยะชุมชน | ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ซึ่งสามารถคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้อีก |
| (4) ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และต้นทุนในการกำจัดกาก | ขณะนี้สถานะของเทคโนโลยี Gasification นั้น กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา เพื่อให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำเทคโนโลยีชนิดนี้มาประยุกต์ใช้กับขยะ ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ดังนั้นต้นทุนใน |

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Gasification |
|---|---|
| | การติดตั้งและเดินระบบนั้นยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน |
| (4.1) ต้นทุนในต่างประเทศ | จากการรวบรวมข้อมูลค่าลงทุนระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงของผู้ผลิตแต่ละรายในปัจจุบันยังแตกต่างกันมาก และไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน โดยพบว่าอยู่ในช่วง 90-300 ปอนด์ต่อตัน (ของขนาดตันต่อปี) |
| (4.2) ต้นทุนในประเทศไทย | ไม่มีข้อมูลต้นทุนในประเทศไทย |
| (5) ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ | ขนาดของพื้นที่ที่ต้องการในการติดตั้งระบบนี้ สามารถอ้างอิงได้จากระบบเตาเผา โดยอาจมีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากอุปกรณ์บางส่วนที่ต้องใช้ในระบบนี้จะมีขนาดเล็กกว่า |
| (6) ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภททางด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน | |
| (6.1) ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะมูลฝอย | มลพิษที่เกิดขึ้นน้อยกว่า และควบคุมได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการนำขยะมูลฝอยมาเผาไหม้โดยตรง |
| (6.2) ทางด้านพลังงาน | เนื่องจากการผลิตพลังงานได้มาจากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิงทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเผาไหม้ขยะมูลฝอยโดยตรง |
| (7) ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ และข้อกำหนดเฉพาะของบุคลากรควบคุมระบบ | กระบวนการต่างๆ ค่อนข้างซับซ้อน และต้องการบุคลากรที่มีความเข้าใจในเทคโนโลยีชนิดนี้ |
| (7.1) วิธีการควบคุมระบบ | |
| (7.2) ข้อกำหนดเกี่ยวกับบุคลากรที่ควบคุมระบบ | |
| (8) ระดับของการพัฒนาเทคโนโลยีและการยอมรับของเทคโนโลยี | แม้ว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ก็ยังอยู่ในขั้นของโครงการสาธิต และยังต้องการงานวิจัยอีกพอสมควร แต่ปัจจุบันก็ได้มีเทคโนโลยีของผู้ผลิตบางรายที่ถือว่าเป็นเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์แล้ว |

### 5.1.3 Anaerobic Digestion

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Anaerobic Digestion |
|---|---|
| (1) ลักษณะขยะชุมชนที่เหมาะสมและความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย | ระบบ AD สามารถรองรับขยะมูลฝอยรวม (Mixed MSW) ได้ เนื่องจากมี FET สำหรับคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์และเตรียมสภาพให้เหมาะสมกับการหมักใน AD แต่ระบบ AD จะมีต้นทุนประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อใช้บำบัดขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่คัดแยกจากแหล่งกำเนิด ระบบ AD มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและคุณภาพของขยะมูลฝอย และสามารถปรับแผนการเดินระบบให้สามารถสอดคล้องต่อการเปลี่ยนแปลงฯ ได้เป็นรายวัน |
| (2) พลังงานที่ผลิตได้ พลังงานที่ใช้และพลังงานสุทธิที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ | |
| (2.1) พลังงานที่ผลิตได้จากระบบ | จะขึ้นกับปริมาณและคุณภาพของขยะมูลฝอยอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเป็นหลัก แต่โดยทั่วไปจะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 100-200 ลบ.ม.ต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ โดยมีมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 55-70 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพประมาณ 5.5-7.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ ลบ.ม. หรือคิดเป็นพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 0.55-0.70 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ |
| (2.2) พลังงานที่ใช้ในระบบ | ต้องการพลังงานสำหรับใช้ในระบบในรูปของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน โดยความต้องการพลังงานของระบบ AD จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้อกำหนดในการออกแบบและเดินระบบ แต่โดยทั่วไป จะมีความต้องการพลังงานทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนรวมประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้สำหรับระบบ FET สำหรับระบบ AD เอง จะใช้พลังงานน้อยมากคือ ประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ผลิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบ AD ที่เดินระบบที่อุณหภูมิระดับกลาง |
| (2.3) พลังงานสุทธิที่ได้จากระบบ | ขึ้นกับข้อ (2.1) และ (2.2) แต่โดยทั่วไปจะได้พลังงานสุทธิจากระบบในรูปของพลังงานไฟฟ้าประมาณ 100-175 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ |
| (3) ผลพลอยได้อื่นๆจากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานฯ จากขยะชุมชน | ผลผลิตสุดท้ายของระบบ AD คือสารปรับสภาพดินโดยปริมาณที่ได้จะขึ้นกับปริมาณของแข็งระเหยง่ายที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปจะได้ สารปรับสภาพดินประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักขยะมูลฝอยอินทรีย์ (ที่ TS |

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Anaerobic Digestion |
|---|---|
| | Content ประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์) |
| (4) ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และต้นทุนในการกำจัดกาก | โดยภาพรวมต้นทุนในการติดตั้งและเดินระบบ AD มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามต้นทุนการติดตั้งและเดินระบบจะแตกต่างกันขึ้นกับข้อกำหนดในการออกแบบและการเดินระบบ และความแตกต่างของโครงสร้างพื้นฐาน ราคาเครื่องจักรอุปกรณ์ และค่าแรงงานในแต่ละภูมิภาคของโลก |
| (4.1) ต้นทุนในต่างประเทศ | ต้นทุนในยุโรป (ปี ค.ศ. 1996)<br>- ประมาณ 50-80 Euro ต่อตัน เมื่อขนาดของระบบเล็กกว่า 20,000 ตันต่อปี<br>- ประมาณ 40-50 Euro ต่อตัน เมื่อขนาดของระบบอยู่ในช่วง 20,000-120,000 ตันต่อปี |
| (4.2) ต้นทุนในประเทศไทย | โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานจังหวัดระยอง มีความสามารถในการกำจัดขยะ 70 ตันต่อวัน มีต้นทุนค่าก่อสร้างประมาณ 135 ล้านบาท<br>โครงการศูนย์กำจัดมูลฝอยรวมจังหวัดชลบุรี มีความสามารถในการกำจัดขยะ 300 ตันต่อวัน มีต้นทุนค่าก่อสร้างประมาณ 626 ล้านบาท |
| (5) ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ | 5-10 ไร่ เมื่อระบบมีไม่ขนาดเกิน 100,000 ตันต่อปี |
| (6) ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภททางด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน | |
| (6.1) ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะมูลฝอย | - เป็นระบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม<br>- ช่วยแก้ปัญหาที่เกิดจากการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักวิชาการ<br>- เป็นการหมุนเวียนขยะมูลฝอยอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารปรับสภาพดิน<br>- ลดพื้นที่ในการกำจัดขยะมูลฝอยเมื่อเทียบกับการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศแบบดั้งเดิม<br>- ลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล<br>- ลดการปล่อยออกของก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอย |

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Anaerobic Digestion |
|---|---|
| | - ลดการปล่อยออกก๊าซมลพิษที่เกิดจากการเผาขยะมูลฝอย<br>- ไม่สามารถกำจัดขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายยาก เช่น พลาสติก |
| (6.2) ทางด้านพลังงาน | - เป็นเทคโนโลยีผลิตพลังงาน (Net Energy Producer)<br>- ลดการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจกและก๊าซมลพิษเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล |
| (7) ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ และข้อกำหนดเฉพาะของบุคลากรควบคุมระบบ | |
| (7.1) วิธีการควบคุมระบบ | สามารถควบคุมได้ทั้งแบบอัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติ และใช้แรงงานคน |
| (7.2) ข้อกำหนดเกี่ยวกับบุคลากรที่ควบคุมระบบ | ต้องการบุคลากรควบคุมระบบ (Operator) ระดับช่างเทคนิคขึ้นไป(ต้องผ่านการฝึกอบรมจากผู้ผลิต) |
| (8) ระดับของการพัฒนาเทคโนโลยีและการยอมรับของเทคโนโลยี | เริ่มเดินระบบเชิงพาณิชย์ ตั้งแต่ปี ค.ศ.1985 ปัจจุบันมีโรงงานบำบัดและผลิตพลังงานขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้เทคโนโลยี AD มากกว่า 160 แห่งทั่วโลก รวมเป็นปริมาณขยะมูลฝอยมากกว่า 5,000,000 ตัน |

### 5.1.4 Landfill Gas to Energy

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Landfill Gas to Energy |
|---|---|
| (1) ลักษณะขยะชุมชนที่เหมาะสมและความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย | - ลักษณะขยะชุมชนที่เหมาะสมกับวิธีนี้ คือ ขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ผ่านการคัดแยกทางกล และการลดขนาดขยะมูลฝอย (ทางเลือก) รวมทั้งขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ผ่านคัดแยก ณ แหล่งกำเนิด<br>- มีการยืดหยุ่นของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในระดับหนึ่ง |
| (2) พลังงานที่ผลิตได้ พลังงานที่ใช้และพลังงานสุทธิที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ | |
| (2.1) พลังงานที่ผลิตได้จากระบบ | - ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบขยะมูลฝอยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณและลักษณะคุณสมบัติของขยะมูลฝอย การดำเนินงานฝังกลบในพื้นที่ (ความหนาแน่นของชั้นขยะมูลฝอย) ความชื้นขยะมูลฝอยและระบบการจัดการก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบ<br>- การประมาณการณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพ (U.S.EPA.,1996)<br>• 6-18 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี/ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ 1-3 ล้านตัน (Roughly Estimation)<br>• 7-32 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี/ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ 1-3 ล้านตัน (ใช้แบบจำลองการย่อยสลายอันดับที่ 1 : First Order Decay Model)<br>• 9-20 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี/ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ 1-3 ล้านตัน (Waste In Place Model)<br>- องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 45-55 เปอร์เซ็นต์ |
| (2.2) พลังงานที่ใช้ในระบบ | พลังงานที่ใช้ในระบบจะอยู่ในรูปของพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เลือกใช้งาน |
| (2.3) พลังงานสุทธิที่ได้จากระบบ | ขึ้นอยู่กับข้อ (2.1) และ (2.2) |
| (3) ผลพลอยได้อื่นๆจากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานฯ จากขยะชุมชน | หากทำ Landfill Mining (Landfill Rehabilitation) จะทำให้ได้สารปรับสภาพดินได้ แต่ต้องใช้ระยะเวลานาน (>20 ปีขึ้นไป) |

<table>
<tr><th>หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ</th><th>รายละเอียด Landfill Gas to Energy</th></tr>
<tr><td>(4) ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และต้นทุนในการกำจัดกาก</td><td>- ต้นทุนในการติดตั้งและดำเนินงานระบบมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับการออกแบบและเทคโนโลยีที่ใช้ในการดำเนินงาน รวมทั้งโครงสร้างพื้นฐานของโครงการในแต่ละพื้นที่ และปริมาณขยะมูลฝอยที่ฝังกลบ</td></tr>
<tr><td>(4.1) ต้นทุนในต่างประเทศ</td><td>- ต้นทุนระบบรวบรวมก๊าซและผลิตพลังงาน<br>- ในประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ.1994 (http://www.epa.gov)<br>• ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ<br>ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ (ล้านตันเมตริกต่อตัน) | ค่าลงทุน (เหรียญสหรัฐ) | ค่า O&M ต่อปี (เหรียญสหรัฐ)<br>1 ล้านเมตริกตัน | 628,000 | 89,000<br>5 ล้านเมตริกตัน | 2,088,000 | 152,000<br>10 ล้านเมตริกตัน | 3,599,000 | 218,000<br>ค่าลงทุนระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพต่อปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบ (เหรียญสหรัฐต่อตันขยะ) มีค่าเท่ากับ 0.6280, 0.4176, 0.3599 เหรียญสหรัฐต่อตันขยะมูลฝอยสำหรับพื้นที่ฝังกลบที่มีปริมาณขยะในพื้นที่เท่ากับ 1, 5 และ 10 ล้านเมตริกตัน ตามลำดับ<br>• ระบบผลิตพลังงาน<br>ปริมาณมูลฝอยในพื้นที่ | ค่าลงทุน (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์) | ค่า O&M (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์-ชม.)<br>1 ล้านเมตริกตัน (IC Engine) | 1,100-1,300 | 0.018<br>5 ล้านเมตริกตัน (CT) | 1,200-1,700 | 0.013-0.016<br>10 ล้านเมตริกตัน (Steam Turbine/Boiler) | 2,000-2,500 | 1.0-2.0<br>- ต้นทุนในประเทศแคนาดา (ปี ค.ศ.1999)<br>• ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ</td></tr>
</table>

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Landfill Gas to Energy |
|---|---|

ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ (ล้านตัน) | ค่าลงทุน (เหรียญสหรัฐ/ตันขยะ) | | ค่า O&Mต่อปี (เหรียญสหรัฐ)

| | Well | Trench | |
|---|---|---|---|
| <1 | 1.65-3.10 | 1.95-3.70 | 60,000-95,000 |
| 1.0-2.5 | 1.05-2.10 | 1.15-2.10 | 70,000-110,000 |
| 2.5-3.5 | 0.80-1.25 | 0.80-1.25 | 90,000-170,000 |
| 2.5-5 | 0.80-1.00 | 0.85-1.05 | 140,000-250,000 |
| >5 | 0.55-0.90 | 0.50-0.90 | 160,000-275,000 |

- ระบบระบบผลิตพลังงาน

ปริมาณขยะมูลฝอยในพื้นที่ (ล้านตัน) | ค่าลงทุน (เหรียญสหรัฐ/ตันขยะ) | ค่า O&M ต่อปี (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์)

| | | |
|---|---|---|
| < 6 (Boiler/Steam Turbine) | 1.00-1.50 | 45-70 |
| > 10 (CCCT) | 1.10-1.60 | 50-85 |
| 1-8 (IC Engine) | 1.10-1.60 | 150-180 |
| 3-12 (Gas Turbine) | 1.30-1.55 | 90-120 |

จะเห็นได้ว่า แนวโน้มค่าลงทุนในสหรัฐจะมีอัตราลดลง เมื่อปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแคนาดา แต่ในสหรัฐฯ จะมีค่าลงทุนถูกกว่า เนื่องจากการใช้งานระบบ Landfill Gas to Energy (LFGTE) มีความแพร่หลายมากกว่า

| | |
|---|---|
| (4.2) ต้นทุนในประเทศไทย | ไม่มีข้อมูลต้นทุนในประเทศไทยซึ่งสามารถนำมาอ้างอิงได้ |
| (5) ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ | ขนาดพื้นที่ที่ต้องการสำหรับเทคโนโลยีขึ้นอยู่กับปัจจัยในด้านการออกแบบ เช่น ความลึกของชั้นฝังกลบ การดำเนินงานฝังกลบขยะ (การบดอัดขยะในพื้นที่) เป็นต้น รวมทั้งปริมาณและลักษณะสมบัติขยะมูลฝอยที่จะนำมาฝังกลบอีกด้วย โดยปริมาณพื้นที่ที่ต้องการมากกว่า 88.5 ไร่ (ที่ปริมาณขยะอย่างน้อย 1 ล้านตัน และความลึกในการฝังกลบอย่างน้อย 35 ฟุต) |

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Landfill Gas to Energy |
|---|---|
| (6) ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภททางด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน | |
| (6.1) ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะมูลฝอย | - ช่วยลดปัญหาเหตุเดือดร้อนจากกลิ่น ความเสี่ยงของความเป็นพิษและสารก่อมะเร็ง<br>- ลดการเสี่ยงจากการเกิดระเบิดและไฟไหม้ในพื้นที่ฝังกลบ<br>- ลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการระบายก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย<br>- ต้องการพื้นที่ที่ใช้ในการดำเนินงานมาก<br>- ช่วยลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือถ่านหิน |
| (6.2) ทางด้านพลังงาน | - เป็นเทคโนโลยีผลิตพลังงานทดแทน (Renewable Energy)<br>- ลดการปล่อยก๊าซชีวภาพและ VOCS จากหลุมฝังกลบ ซึ่งจะมีผลต่อปัญหาภาวะโลกร้อนและภาวะเรือนกระจก<br>- ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งพลังงานทดแทน<br>- สามารถนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ |
| (7) ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ และข้อกำหนดเฉพาะของบุคลากรควบคุมระบบ | |
| (7.1) วิธีการควบคุมระบบ | - ต้องใช้ทั้งการควบคุมการดำเนินงานโดยแรงงานคน และระบบควบคุมอัตโนมัติ |
| (7.2) ข้อกำหนดเกี่ยวกับบุคลากรที่ควบคุมระบบ | - ต้องการเจ้าหน้าที่ควบคุมการดำเนินงานที่มีทักษะ-ความรู้ในการดำเนินงานฝังกลบเป็นอย่างดี |
| (8) ระดับของการพัฒนาเทคโนโลยีและการยอมรับของเทคโนโลยี | มีการพัฒนาและใช้งานในระดับ Commercial Scale มาตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 20 โดยมีใช้งานกันมาในกลุ่มประเทศในแถบอเมริกาเหนือ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดาออสเตรเลีย บราซิล ชิลี ลัตเวีย เมกซิโก โปแลนด์ อเมริกาใต้ ตุรกี อุรุกวัย เกาหลี เป็นต้น ปัจจุบันจากข้อมูลของ U.S.EPA. (LMOP) ในปี ค.ศ.2002 พบว่า มีจำนวนโครงการ LFGTE ในประเทศสหรัฐอเมริกากว่า 300 โครงการ ที่ดำเนินงานอยู่ |

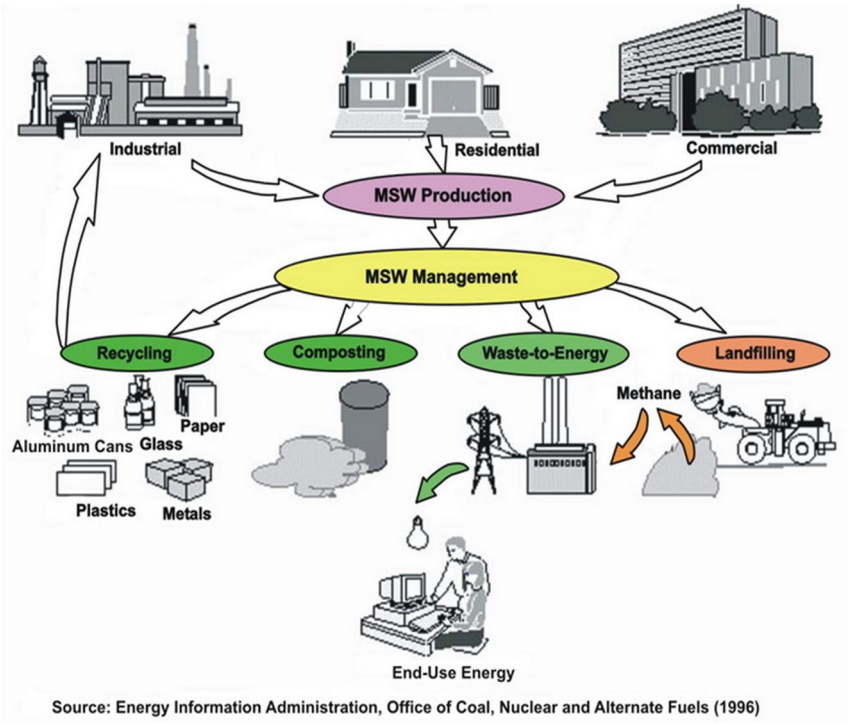
### 5.1.5 Refuse Derived Fuel (RDF)

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Refuse Derived Fuel |
|---|---|
| (1) ลักษณะขยะชุมชนที่เหมาะสมและความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย | สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ตามการออกแบบ และสามารถปรับเปลี่ยนการเดินระบบได้ เมื่อองค์ประกอบขยะมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลง |
| (2) พลังงานที่ผลิตได้ พลังงานที่ใช้และพลังงานสุทธิที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีประเภทต่างๆ | |
| (2.1) พลังงานที่ผลิตได้จากระบบ | พลังงานที่ผลิตได้จากขยะมูลฝอยที่ได้รับการแปรรูปไปเป็นเชื้อเพลิงขยะ (RDF) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณสมบัติของขยะมูลฝอย |
| (2.2) พลังงานที่ใช้ในระบบ | ในกระบวนการแปรรูปขยะมูลฝอยไปเป็นเชื้อเพลิงขยะนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน |
| (2.3) พลังงานสุทธิที่ได้จากระบบ | ขึ้นกับ (2.1) และ (2.2) |
| (3) ผลพลอยได้อื่นๆจากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานฯ จากขยะชุมชน | นอกจากจะได้เชื้อเพลิงขยะแล้ว องค์ประกอบต่างๆ จากขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจะถูกคัดแยกออกมา เช่น โลหะ แก้ว เป็นต้น ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ได้ |
| (4) ต้นทุนในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และต้นทุนในการกำจัดกาก | โดยทั่วไปอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิงขยะนั้นได้รับการพัฒนามานานแล้ว แต่ถ้าพิจารณาถึงต้นทุนการติดตั้งและเดินระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ ซึ่งจะต้องมีความสอดคล้องเหมาะสมกับคุณลักษณะของขยะมูลฝอยในแต่ละท้องที่ และการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงขยะ |
| (4.1) ต้นทุนในต่างประเทศ | จากข้อมูลต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงขยะในประเทศยุโรปซึ่งมีลักษณะสมบัติของขยะและการกำหนดมาตรฐานของเชื้อเพลิงขยะต่างๆ กัน พบว่าจะอยู่ในช่วง 6-21 ยูโรต่อตันเชื้อเพลิงขยะ |
| (4.2) ต้นทุนในประเทศไทย | ไม่มีข้อมูลต้นทุนในประเทศไทที่สามารถนำมาอ้างอิงได้ |
| (5) ความต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ | ขนาดพื้นที่ที่ต้องการจะใกล้เคียงกับระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน |

| หัวข้อที่ทำการเปรียบเทียบ | รายละเอียด Refuse Derived Fuel |
|---|---|
| (6) ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภททางด้านต่างๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน | |
| (6.1) ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะมูลฝอย | - เป็นการช่วยลดปริมาณของเสีย โดยการคัดแยกขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่<br>- ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานในการผลิตภัณฑ์ใหม่ |
| (6.2) ทางด้านพลังงาน | - สามารถผลิตเชื้อเพลิงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ |
| (7) ความซับซ้อนในการควบคุมระบบ และข้อกำหนดเฉพาะของบุคลากรควบคุมระบบ | ระบบแปรรูปขยะมูลฝอยไม่เป็นเชื้อเพลิงขยะไม่มีความซับซ้อนมากนัก |
| (7.1) วิธีการควบคุมระบบ | |
| (7.2) ข้อกำหนดเกี่ยวกับบุคลากรที่ควบคุมระบบ | |
| (8) ระดับของการพัฒนาเทคโนโลยีและการยอมรับของเทคโนโลยี | กระบวนการแปรรูปนี้ มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันหลายประเทศทั้งในยุโรปและญี่ปุ่น มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในขณะเดียวกัน การเลือกใช้จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงคุณลักษณะของขยะมูลฝอยและความต้องการเชื้อเพลิงขยะก่อน เพื่อที่จะสามารถออกแบบระบบได้ถูกต้อง |

# บทที่ 6
# ปัจจัยและขั้นตอนการพิจารณาการลงทุน

การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์การเงินสำหรับการดำเนินโครงการก่อสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน นอกเหนือจากการพิจารณาแต่ละทางเลือกเทคโนโลยีผลิตพลังงานแล้ว ปัจจัยและตัวแปรความพร้อมขององค์กรท้องถิ่นในการจัดการขยะ ความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นโดยเฉพาะของหน่วยงานที่รับผิดชอบและภารกิจในการบริหารจัดการขยะในชุมชน จะสะท้อนลักษณะเฉพาะเบื้องต้นในด้านการจัดการขยะในปัจจุบัน และคาดว่าจะสามารถรองรับระบบผลิตพลังงานจากขยะได้ ปัจจัยนี้ประกอบด้วย ดังนี้



Source: Energy Information Administration, Office of Coal, Nuclear and Alternate Fuels (1996)

(1) สัดส่วนรายจ่ายด้านการจัดการขยะต่อรายจ่ายทั้งหมดของเทศบาล รายจ่ายทั้งหมดด้านการจัดการขยะซึ่งรวมทั้งงานด้านการเก็บขน และงานกำจัดขยะในแต่ละปี เพื่อเปรียบเทียบกับรายจ่ายทั้งหมดขององค์กรท้องถิ่น สามารถสะท้อนการให้ความสำคัญขององค์กรท้องถิ่นต่อการจัดการขยะภายในชุมชน สัดส่วนงบประมาณรายจ่ายที่สูงจะแสดงให้เห็นว่าองค์กรท้องถิ่นมีความสนใจ และให้ความสำคัญด้านการจัดการขยะมากกว่าองค์กรท้องถิ่นที่มีสัดส่วนรายจ่ายที่ต่ำกว่า

(2) สัดส่วนรายได้จากค่าธรรมเนียมการจัดการขยะต่อรายจ่ายการจัดการขยะ ค่าธรรมเนียมการจัดการขยะขององค์กรท้องถิ่นในปัจจุบันมีเฉพาะค่าเก็บขนขยะเท่านั้น รายได้จากค่าธรรมเนียมจะสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพรวมการบริหารการเงิน โดยเฉพาะการกำหนดอัตราค่าธรรมเนียมเก็บขนภายในชุมชน และความสามารถหรือประสิทธิภาพในการเก็บค่าธรรมเนียมจากประชาชน หน่วยงานหรือสถานประกอบการในชุมชนได้อย่างทั่วถึงหรือไม่ รายได้ของค่าธรรมเนียมต่อรายจ่ายการจัดการขยะที่มีสัดส่วนสูงย่อมมีความสำคัญและมีความพร้อมมากกว่าสัดส่วนที่ต่ำกว่า

(3) สัดส่วนของปริมาณขยะต่อจำนวนบุคลากรด้านกำจัดขยะ ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในชุมชนเมื่อเทียบกับจำนวนบุคลากรที่รับผิดชอบในด้านการกำจัดขยะขององค์กรท้องถิ่นจะแสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญและความพร้อมขององค์กรท้องถิ่นในด้านการกำจัดขยะในปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งคาดว่าจะ

สามารถรองรับระบบผลิตพลังงานจากขยะได้ดีกว่า ในที่นี้ได้คิดสัดส่วนของปริมาณขยะต่อจำนวนบุคลากรด้านการกำจัดขยะ สัดส่วนของตันต่อคนที่ต่ำกว่าจะมีความพร้อมมากกว่าสัดส่วนที่สูงกว่า (ตันต่อคน)

(4) สัดส่วนการคัดแยกขยะเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ องค์กรท้องถิ่นที่มีการรณรงค์ให้มีการคัดแยกขยะเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ในสัดส่วนที่สูง ย่อมมีความพร้อมและให้ความสำคัญในการยอมรับระบบผลิตพลังงานจากขยะมากกว่าเพราะระบบผลิตพลังงานจากขยะจะเกี่ยวข้องและสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรมการคัดแยกขยะในชุมชนและส่งผลให้การดำเนินงานโครงการได้อย่างราบรื่น

(5) สัดส่วนประชากรที่ได้รับบริการเก็บขนขยะ จำนวนประชากรในท้องถิ่นที่ได้รับบริการเก็บขนขยะจากจำนวนประชากรทั้งหมด ย่อมสะท้อนการให้ความสำคัญและความพร้อมขององค์กรท้องถิ่นในด้านการจัดการขยะชุมชนชุมชนที่มีสัดส่วนของประชากรที่ได้รับบริการเก็บขนขยะสูงกว่าจะมีความสำคัญและความพร้อมมากกว่าชุมชนที่มีสัดส่วนต่ำกว่า

(6) การมีพื้นที่รองรับการกำจัดขยะในปัจจุบันและแห่งใหม่ ในที่นี้หมายถึงการใช้พื้นที่สำหรับการกำจัดขยะขององค์กรท้องถิ่นทั้งในปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพปัญหาการกำจัดขยะและความพร้อมขององค์กรท้องถิ่นในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว องค์กรท้องถิ่นที่ได้จัดเตรียมพื้นที่ไว้แล้วและมีพื้นที่ขนาดใหญ่ ย่อมมีความพร้อมมากกว่าองค์กรท้องถิ่นที่มีพื้นที่ขนาดเล็กกว่าหรือยังไม่ได้มีการเตรียมพื้นที่ของสถานที่กำจัด

## 6.1 ปัจจัยและตัวแปรสภาพปัญหาการจัดการขยะขององค์กรท้องถิ่น

สภาพปัญหาการจัดการขยะในปัจจุบันขององค์กรท้องถิ่น สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสนใจ ความเอาใจใส่และลักษณะการแก้ไขปัญหาขององค์กรท้องถิ่น โดยเฉพาะในด้านการกำจัดขยะ ประกอบด้วย ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวม 4 ด้าน สรุปได้ดังนี้

(1) วิธีกำจัดขยะที่ใช้ในปัจจุบัน รูปแบบวิธีกำจัดขยะที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถชี้ให้เห็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะขององค์กรท้องถิ่น การเลือกใช้วิธีกำจัดที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะสะท้อนให้เห็นว่าองค์กรท้องถิ่นยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาในด้านการกำจัดขยะในชุมชน ตัวแปรนี้มีความสำคัญในระดับสูง

(2) สถานที่กำจัดขยะในปัจจุบัน สถานที่กำจัดขยะที่ใช้งานในปัจจุบันขององค์กรท้องถิ่นมีหลายรูปแบบ อาจมีพื้นที่เป็นของตนเองหรือใช้ร่วมกับองค์กรท้องถิ่นข้างเคียงหรือใช้พื้นที่เอกชน องค์กรท้องถิ่นที่สามารถจัดหาพื้นที่กำจัดของตนเองได้ ย่อมมีปัญหาในด้านการกำจัดน้อยกว่าองค์กรท้องถิ่นที่ไม่มีสถานที่กำจัดของตนเอง

(3) อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของสถานที่กำจัด องค์กรท้องถิ่นที่มีสถานที่กำจัดขยะของตนเองและยังมีพื้นที่เหลือเพื่อใช้กำจัดขยะมากหรือใช้งานได้นานกว่า ย่อมมีปัญหาในด้านการกำจัดขยะน้อยกว่าองค์กรท้องถิ่นที่มีพื้นที่เหลือใช้งานน้อยกว่า หรือไม่มีพื้นที่กำจัดขยะของตนเอง

(4) อัตราเพิ่มของปริมาณขยะชุมชนในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา โดยการรวบรวมข้อมูลสถิติปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในระยะ 3 ปีที่ผ่านมาขององค์กรท้องถิ่น เพื่อคำนวณอัตราเพิ่มโดยเฉลี่ยของปริมาณขยะ ซึ่งสามารถสะท้อนสภาพการขยายตัวของชุมชนได้ระดับหนึ่ง อัตราเพิ่มที่สูงกว่าสามารถบ่งชี้แนวโน้มปัญหาการจัดการขยะของชุมชนจะเกิดขึ้นมากกว่าอัตราเพิ่มที่ต่ำกว่า

## 6.2 ขั้นตอนที่สำคัญโดยการพิจารณาโครงการผลิตพลังงานจากพลังงานขยะ[1]

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตพลังงานจากพลังงานขยะ เป็นขั้นตอนที่สำคัญโดยการพิจารณาถึงศักยภาพณ จุดที่จะดำเนินการ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและจัดหาข้อมูลประกอบอื่นๆ นำมาวิเคราะห์ การสำรวจพื้นที่ วิเคราะห์ประเมินพลังงานไฟฟ้าจากขยะ วิเคราะห์ประเมินความคุ้มค่าโครงการด้านเศรษฐศาสตร์ พร้อมทั้งประเมินผลกระทบด้านสังคม และสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติของขยะชุมชน

การศึกษาคุณสมบัติของขยะชุมชน จะแยกออกเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ การสำรวจองค์ประกอบทางกายภาพ (Physical Composition) กับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Property) โดยทั่วไปองค์ประกอบทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างขยะรวมของแต่ละชุมชนจะมีค่าผันแปรอันเกิดจากฤดูกาล (โดยเฉพาะฝน) ช่วงเวลาที่มีการบริโภคผลไม้ในท้องตลาด ลักษณะของชุมชน เป็นต้น ซึ่งล้วนมีสิทธิผลมากน้อยในระดับที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติของขยะชุมชนในแต่ละช่วงเวลาของปี โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างขยะชุมชนใหม่สดจากกองขยะมูลฝอยรวมที่ขนมากำจัดในแต่ละวัน และรวบรวมตัวอย่างขยะให้มีปริมาตร 1-2 ลูกบาศก์เมตร ทำการคลุกเคล้าผสมกันให้มากที่สุดโดยใช้แรงงานคนพร้อมอุปกรณ์ หรือใช้เครื่องจักรกลช่วยในการปฏิบัติงาน

### ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาด้านทัศนคติและความคิดเห็นและความพร้อมของชุมชน

ในการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะชุมชนการศึกษาด้านทัศนคติและความคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะชุมชนในปัจจุบัน และประเมินทัศนคติเบื้องต้นที่มีต่อโครงการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน

กลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้บริหารและผู้รับผิดชอบด้านการจัดการขยะจากเทศบาล ผู้นำชุมชน ผู้ประกอบการ และบุคคลทั่วไป ซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลหลักและเป็นตัวแทนของชุมชนและหน่วยงาน ในการแสดง ความคิดเห็น รวมทั้งประชาชนผู้สนใจทั่วไป มีดังนี้

---

[1] *ข้อมูลจาก รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, เอกสารประกอบการบรรยาย, หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีในการจัดการขยะมูลฝอย และกากของเสียและสารอันตราย และการพัฒนาโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน, ดร.เชาวน์ นกอยู่, กรมควบคุมมลพิษ*

1) ผู้บริหารระดับสูงของเทศบาล ได้แก่ นายกเทศมนตรี เทศมนตรี สมาชิกสภาเทศบาล ปลัดเทศบาลรองปลัดเทศบาล
2) ผู้บริหารระดับปฏิบัติการ ได้แก่ ผู้อำนวยการสำนักการช่าง ผู้อำนวยการกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ผู้อำนวยการกองช่างสุขาภิบาล ผู้อำนวยการกองวิชาการ และแผนงาน
3) ผู้ปฏิบัติการ การจัดการขยะชุมชน และงานประชาสัมพันธ์ ของเทศบาล
4) ประธาน/รองประธานชุมชน/กำนัน/ผู้ใหญ่บ้าน ผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไปในชุมชน

### ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน และผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อม

การเลือกใช้เทคโนโลยีในการกำจัดขยะชุมชนถือว่าเป็นโครงการที่ต้องการเงินลงทุนสูงและรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง (ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของโรงงาน) และรายได้ที่ได้มาจากการขายพลังงาน เนื่องจากเทคโนโลยีการกำจัดขยะเพื่อผลิตพลังงานมีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการศึกษาข้อพิจารณาในการเลือกใช้หลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ค่าแรง ค่าครองชีพ การพิจารณาระบบสายส่งเพียงพอที่จะรับกับเป้าหมายการผลิตหรือไม่ [2] กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

และการศึกษาความเหมาะสมการออกแบบรายละเอียดและผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพื้นที่ที่มีปริมาณและองค์ประกอบขยะมูลฝอยที่เพียงพออาจจะไม่เหมาะสมต่อการดำเนินโครงการก็ได้ ดังนั้นผู้พัฒนาจะต้องมีการศึกษาความเหมาะสมหรือความเป็นไปได้ของโครงการก่อนเลือกพื้นที่ และระบบการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะต้องมีการออกแบบรายละเอียดที่ครบถ้วนสำหรับการดำเนินโครงการ รวมทั้งด้านโครงสร้างอาคาร หน่วยการผลิตต่างๆ และการเดินระบบ อีกทั้งการวิเคราะห์ด้านการเงินและมาตรการในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งต้องการทำประชาวิจารณ์ตามกฎหมายด้วย และที่สำคัญต้องมีการเสนอรูปแบบการบริหารโครงการที่เหมาะสม เป็นที่ยอมรับทั้งจากผู้ประกอบการและองกรค์ปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.)

---

[2] *ระบบสายส่งเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งของโครงการปกติในประเทศไทยยกเว้นภาคใต้ ระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเป็นสายแรงดันที่ 22 kV เป็นระบบจำหน่ายเชื่อมโยงถึงทุกท้องที่ สามารถรับกระแสไฟฟ้าสูงสุดกำหนดไว้ที่ 8 MW ต่อหนึ่งวงจร ดังนั้นโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานที่จะส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ VSPP จะส่งเกินกว่านี้ไม่ได้ แต่หากพื้นที่เป้าหมายมีขนาดใหญ่สามารถพัฒนาโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานขนาดใหญ่ได้ควรมีการพัฒนาให้ได้ตามศักยภาพนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และหากผลิตไฟฟ้าได้เกินกว่าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะรับได้ ก็ต้องพิจารณาเข้าระบบ SPP ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตซึ่งระบบสายส่งอาจจะต้องเป็นขนาด 115 kV ที่ต้องมีการลงทุนสูงขึ้นทั้งราคาต่อกิโลเมตร และทั้งระยะทางจากที่ตั้งโครงการถึงจุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ดังนั้นโครงการจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเฉลี่ยมูลค่าการลงทุนในระบบสายส่งให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน*

### ขั้นตอนที่ 4 การหาผู้สนับสนุนทางการเงิน

การลงทุนในโครงการพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานเป็นการลงทุนที่สูง การแสวงหาแนวร่วมทางการเงินเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้พัฒนาโครงการจะต้องมีสัมพันธภาพที่ดีกับสถาบันการเงินหรือแนวร่วมการลงทุนที่เข้มแข็ง

### ขั้นตอนที่ 5 การทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง

ผู้พัฒนาโครงการจะต้องมีการยื่นความจำนงที่จะขายไฟฟ้า โดยสำหรับประเทศไทยมีระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยตามข้อกำหนดของ VSPP และ SPP โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตและการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งมีการกำหนดราคารับซื้อไฟฟ้าพื้นฐานและส่วนค่าไฟฟ้าเพิ่ม (adder) สำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากขยะมูลฝอยในอัตรา 2.50 บาทต่อหน่วย (kWh) สำหรับระบบหมักหรือหลุมฝังกลบขยะ และ 3.50 บาทต่อหน่วย สำหรับพลังงานความร้อน (Thermal Process) เป็นระยะเวลา 7 ปี ในสัญญาระบุระยะเวลาของสัญญาและเงื่อนไขสัญญาต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ รวมทั้งเงื่อนไขที่ผู้พัฒนาโครงการสามารถบอกเลิกสัญญากับการไฟฟ้า ได้แก่ การไฟฟ้าไม่สามารถบอกเลิกสัญญากับผู้ประกอบการได้ (หากผู้ประกอบการมิได้ทำผิดสัญญา) ซึ่งนับว่ามั่นคงเพียงพอสำหรับผู้ประกอบการ

### ขั้นตอนที่ 6 การเข้าใช้พื้นที่ของโครงการ

พื้นที่เป้าหมายโครงการที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในเบื้องต้นแล้วว่ามีศักยภาพในการที่จะนำขยะมูลฝอยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานนั้นผู้พัฒนาโครงการจะต้องมีการประสานการดำเนินงานกับองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นนั้น (เทศบาล/ อบต./ กทม./ เมืองพัทยา) เพื่อตกลงร่วมมือกันในการพัฒนาโครงการในรายละเอียดต่าง ๆ ของการดำเนินโครงการ รวมทั้งด้านข้อมูลที่จำเป็น สถานที่โครงการ ผู้รับผิดชอบ ระยะเวลาดำเนินโครงการความรับผิดชอบของแต่ละหน่วยงานรวมทั้งการลงทุนและผลประโยชน์ และการบริหารโครงการ

ผู้พัฒนาโครงการจะต้องคำนึงถึงการก่อสร้าง สถานที่ก่อสร้างและการคมนาคมขนส่ง รวมทั้งการบริหาร โครงการ โดยที่ อปท. จะต้องมีการรวบรวมขยะมูลฝอยให้ได้ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับตลอดอายุโครงการรวมทั้งจะต้องมีการประชาสัมพันธ์โครงการเพื่อทำความเข้าใจของประชาชนในพื้นที่เพื่อสนับสนุนการดำเนินโครงการ

### ขั้นตอนที่ 7 การก่อสร้างระบบการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานและเดินระบบ

ผู้พัฒนาโครงการจะต้องตกลงกับ อปท. ในรูปแบบของการพัฒนาโครงการ เช่น สัมปทาน สัญญาบริการ ซึ่งขึ้นอยู่กับผลที่ได้จากการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ โดยจะต้องมีการทำหนังสืออนุญาตในการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างโครงการ (ในกรณีที่เป็นที่ดินของส่วนราชการ) ทั้งนี้ผู้พัฒนาโครงการจะต้องทำการอนุญาตในการก่อสร้างตามข้อกำหนดของทางราชการต่างๆ เช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง เทศบาล หรืออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ก่อนทำการก่อสร้าง โดยจะต้องเสนอแผนการก่อสร้างและเดินระบบให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเริ่มการก่อสร้าง ซึ่งอย่างน้อยต้องเป็นไปตามมาตรฐานวิชาชีพด้านวิศวกรรมต่างๆ ที่

เกี่ยวข้อง โดยการกำกับดูแลของผู้มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพนั้น ๆ และหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง หลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จให้มีการทดลองเดินระบบตามระยะเวลาที่กำหนด ในขณะเดียวกันจะต้องมีการถ่ายทอดความรู้ให้แก่ อปท.อย่างเหมาะสม

เมื่อผู้พัฒนาโครงการทำการก่อสร้างเสร็จให้มีการทดลองเดินระบบตามระยะเวลาที่กำหนด โดยจะต้องมีการถ่ายทอดความรู้ในการดำเนินโครงการให้แก่เจ้าหน้าที่ของส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งจะต้องมีการประชาสัมพันธ์เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ดีของประชาชนต่อโครงการ เพื่อเป็นการสร้าง ความยอมรับของประชาชนต่อโครงการที่จะเห็นคุณประโยชน์ในการดำเนินโครงการในการแก้ปัญหาขยะมูลฝอยในชุมชนนั้น รวมทั้งรณรงค์ให้ประชาชนร่วมกันลดและคัดแยกขยะจากครัวเรือน เพื่อการมีส่วนร่วมของชุมชนทุกภาคส่วนในการจัดการขยะมูลฝอย

**ขั้นตอนที่ 8 ความร่วมมือขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น**

โดยปกติการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยจากครัวเรือนในชุมชนต่าง ๆ ในเขตบริการของเทศบาลเพื่อขนส่งไปกำจัดยังสถานที่กำจัดที่เหมาะสม ทั้งนี้ในเขตพื้นที่อาจมีการจ้างเหมาให้เอกชนเข้ามารับบริการเก็บขนขยะก็ได้ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของเทศบาล ดังนั้นผู้พัฒนาโครงการจะต้องมีการทำสัญญาตกลงกับ อปท. ในการเก็บรวบรวบขยะมูลฝอยเข้าสู่ที่ตั้งโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อตกลงว่าจะเป็นในรูปแบบใดและการคิดค่าบริการต่าง ๆ จะตกลงกันอย่างไร เช่น อปท.เป็นผู้เก็บรวบรวมแล้วให้เอกชนบริหารโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน โดย อปท.จ่ายค่ากำจัดขยะให้เอกชนตามราคาที่กำหนดหรือให้เอกชนเก็บขนด้วยในราคาที่กำหนด ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตแล้วขายได้จะต้องมีการตกลงผลตอบแทนแก่ อปท. อย่างนั้นขึ้นอยู่กับข้อตกลงตามสัญญาด้วย

## 6.3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและการเงิน

การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างรายได้และรายจ่ายว่า รายได้สูงกว่ารายจ่ายหรือไม่ หากรายได้สูงกว่ารายจ่าย แสดงว่าการลงทุนนั้นคุ้มค่า และหากมีอัตราตอบแทนในระดับสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยของการนำเงินลงทุนนั้นไปลงทุนอย่างอื่น หรือสูงกว่าดอกเบี้ยเงินกู้ก็จะหมายความว่า การลงทุนนั้นให้ผลตอบแทนในอัตราที่จูงใจตัวชี้วัดในประเด็นที่กล่าวข้างต้นที่ใช้กันทั่วไปมีดังนี้

### 1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการคือมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดของโครงการ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการทำส่วนลดกระแสผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งการวิเคราะห์มูลค่า

ปัจจุบันสุทธิคือหากค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ≤ 0 แสดงว่าเป็นโครงการที่สมควรจะดำเนินการเนื่องจากมีผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบ ณ ปัจจุบันมากกว่าค่าใช้จ่ายแต่ในทางตรงกันข้ามหากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าเป็นโครงการที่ไม่น่าจะลงทุนเนื่องจากมีผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบ ณ ปัจจุบันน้อยกว่าค่าใช้จ่า

### 2) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการคืออัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ทำให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้นอัตราผลตอบแทนของโครงการจึงได้แก่อัตราดอกเบี้ยหรือ i ที่ทำให้ NPV=0 ซึ่งหากว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ณ สถานการณ์ปัจจุบันสูงกว่าค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการที่คำนวณได้ก็ไม่สมควรที่จะลงทุนโครงการดังกล่าวในทางตรงกันข้ามหากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ณ สถานการณ์ปัจจุบันยิ่งต่ำกว่าค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการที่คำนวณได้มากเท่าไรแสดงเป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนมากขึ้นตามลำดับ

### 3) ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)

ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนคืออัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนหรือมูลค่าผลตอบแทนของโครงการเทียบกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนหรือต้นทุนรวมของโครงการซึ่งรวมทั้ง ค่าโรงไฟฟ้า ค่าที่ดิน ค่าติดตั้ง ค่าดำเนินการ ค่าซ่อมบำรุงรักษา ถ้าอัตราส่วนที่ได้มากกว่า 1 แสดงว่าควรตัดสินใจเลือกโครงการนั้น แต่ถ้าอัตราส่วนที่ได้น้อยกว่า 1 แสดงว่าโครงการนั้นไม่น่าสนใจลงทุน แต่ถ้าเท่ากับ 1 แสดงว่าโครงการคุ้มทุน

### 4) ต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (Cost of Energy)

การพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญอีกตัวชี้วัดหนึ่ง คือ การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตไฟฟ้าซึ่งวิเคราะห์จากต้นทุนการผลิตตลอดอายุโครงการ สำหรับโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานจากขยะ ต้นทุนเริ่มต้นในการติดตั้งโรงไฟฟ้ารวมทั้งต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปีตลอดอายุโครงการที่ทำการผลิตไฟฟ้าแล้วคำนวณหาค่าใช้จ่ายต่อปีที่เท่ากัน (Equivalent annual costs, EAC) ซึ่งได้คำนึงถึงการปรับค่าของเวลา และการเลือกค่าเสียโอกาสของทุนที่เหมาะสมเข้าไว้ด้วยแล้วและคำนวณหาต้นทุนต่อหน่วยโดยหารด้วยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยสามารถใช้ประโยชน์ในการพิจารณาเปรียบเทียบกับราคาไฟฟ้าที่การไฟฟ้าภูมิภาครับซื้อ ซึ่งจะเป็นเกณฑ์การพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกพื้นที่ติดตั้ง และมีการวิเคราะห์ผลกรณีที่ปัจจัยด้านอัตราดอกเบี้ยเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis)

### 5) ระยะเวลาการลงทุน (Pay Back Period)

คือ ระยะเวลาที่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสามารถนำไปชำระเงินที่ใช้ลงทุนในการพัฒนาโครงการได้ครบถ้วน โดยส่วนใหญ่ใช้นับเป็นจำนวนปี โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่ดีกว่าโครงการที่มีระยะคืนทุนยาว โดยทฤษฎีระยะเวลาคืนทุนจะต้องไม่นานกว่าอายุการใช้งานของโครงการ แต่ในภาคปฏิบัติระยะเวลาคืนทุนของโครงการขนาดใหญ่จะยอมรับกันที่ 7-10 ปี

6) งบกระแสเงินสด (Cash Flow)

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและรายได้ที่เกิดขึ้นในแต่ละปีในช่วงอายุที่โครงการยังก่อให้เกิดรายได้ว่า รายได้ที่ได้รับจะเพียงพอต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในปีนั้นๆ หรือไม่ ทั้งนี้ เพื่อให้นักลงทุนจะได้ตระหนักและหาทางแก้ไขล่วงหน้าเพื่อมิให้เกิดสถานการณ์เงินขาดมือในช่วงใดช่วงหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลให้โครงการสะดุด ซึ่งในกรณีการกู้เงิน สถาบันการเงินจะให้ความสำคัญกับงบกระแสเงินสดมาก

## 6.4 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความเหมาะสมการลงทุน ที่ถูกต้องมีดังนี้

1) **รายจ่าย** ประกอบด้วย ต้นทุน การลงทุน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

- **ต้นทุน** ได้แก่ เงินที่ใช้ลงทุนในการพัฒนาโครงการ เช่น การซื้อที่ดิน เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ ตลอดจนค่าติดตั้งดำเนินการทดสอบ
- **ค่าใช้จ่าย** ได้แก่ ค่าดำเนินการในการเดินเครื่องหลังจากการพัฒนาโครงการแล้วเสร็จ เช่น ค่าจ้างพนักงาน ค่าซ่อมแซม ดอกเบี้ยเงินกู้ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ภาษี ฯลฯ แต่ละเทคโนโลยีจะมีค่าใช้จ่ายเหล่านี้อาจไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและขนาด และมาตรการส่งเสริมการลงทุนของรัฐ

2) **ประโยชน์หรือรายรับ (Benefit)** รายรับที่ได้รับจากโครงการ แยกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ประโยชน์โดยตรงทางการเงิน อันได้แก่ รายได้จากการขายพลังงานในกรณีที่ขายให้แก่ภายนอก หรือการลดค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้อยู่เดิม การขายวัสดุที่เหลือจากการผลิตพลังงาน รายได้จาก CDM กับประโยชน์ทางอ้อมที่มิใช่เป็นเม็ดเงินโดยตรงแต่สามารถประเมินเป็นรูปเงินได้ เช่น การลดการกำจัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ ซึ่งในการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ จะใช้ประโยชน์ที่เกิดจากทั้งทางตรงและทางอ้อม ผู้ประกอบการจะต้องหาข้อมูลให้ถูกต้องและถี่ถ้วนถึงราคาพลังงานที่จะขายได้หรือสามารถทดแทนได้ตลอดจนมาตรการสนับสนุนของรัฐที่มีผลต่อรายรับในด้านราคาของพลังงานที่ขาย เช่น adder ระยะเวลาที่ให้การสนับสนุน เพื่อนำมาใช้ประเมินผลตอบแทนโครงการ

3) **ข้อเสนอแนะ** ข้อมูลข้างต้นเป็นการให้ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นแก่ผู้ประกอบการ เพื่อความเข้าใจและนำไปใช้ประกอบการพิจารณาประเมินผลเบื้องต้น แต่แนะนำว่าหากจะได้ผลอย่างสมบูรณ์ที่ให้ความเชื่อมั่นอย่างแท้จริงแก่ผู้ประกอบการและสถาบันการเงิน ควรให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการเงินเป็นผู้ดำเนินการวิเคราะห์

## 6.5 การประเมินต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

เทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะชุมชน ซึ่งปัจจุบันมีสถานภาพเป็นเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ (Commercial Technology) จะประกอบด้วย

- การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process) ซึ่งได้แก่
  - เทคโนโลยีผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผาขยะชุมชน (Incineration)
  - เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW Gasification)

- เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นพลังงานโดยใช้ Thermal Conversion Process

○ การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) ซึ่งได้แก่

- เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
- เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพ จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล(Landfill Gas to Energy)

***รายละเอียดของการประเมินต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากขยะรายเทคโนโลยี ดังนี้***

**1) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผาขยะชุมชน (Incineration)**

ในการศึกษาเปรียบเทียบนี้จะเลือกใช้เทคโนโลยีโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนที่มีการใช้งานกันมากที่สุดคือเทคโนโลยีแบบ Moving grate การประมาณการค่าลงทุนของเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ คือ

➢ **เงินลงทุน (Investment Cost)**

เงินลงทุนที่แท้จริงสำหรับโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดความสามารถในการกำจัด ของโรงเผาขยะมูลฝอย จำนวนเมตริกตันของขยะมูลฝอยต่อปี หรือต่อวัน และค่าความร้อนค่าต่ำของขยะมูลฝอย (Lower heating value) โรงเผาขยะมูลฝอยที่มีความสามารถในการกำจัดต่ำจะใช้เงินลงทุนต่อเมตริกตันขยะมูลฝอยที่กำจัดสูงกว่าโรงเผาขยะมูลฝอยที่มีความสามารถในการกำจัดสูง เครื่องจักรที่ใช้กับระบบจะขึ้นอยู่กับชนิดของการผลิตพลังงาน ตั้งแต่การระบายความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างง่าย (ไม่มีการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่) จนไปถึงระบบที่มีการผลิตกำลังและความร้อนร่วม ยิ่งไปกว่านั้น เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบควบคุมมลพิษอากาศก็จะขึ้นอยู่กับระดับมลพิษอากาศที่ยอมรับได้ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลอย่างมากต่อเงินลงทุนของระบบ

➢ **ค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานและบำรุงรักษา** ประกอบด้วย

❖ ต้นทุนค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานคงที่

❑ เงินเดือน และค่าใช้จ่ายผู้ปฏิบัติงาน

❖ ต้นทุนค่าใช้จ่ายผันแปร

❑ ต้นทุนสารเคมีที่ต้องใช้กับระบบควบคุมมลพิษอากาศ

❑ ต้นทุนค่าไฟฟ้า ที่ต้อง)ใช้ในการเดินระบบ

❑ ต้นทุนค่าน้ำและค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

❑ ต้นทุนการจัดการขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้

❖ ต้นทุนค่าบำรุงรักษา

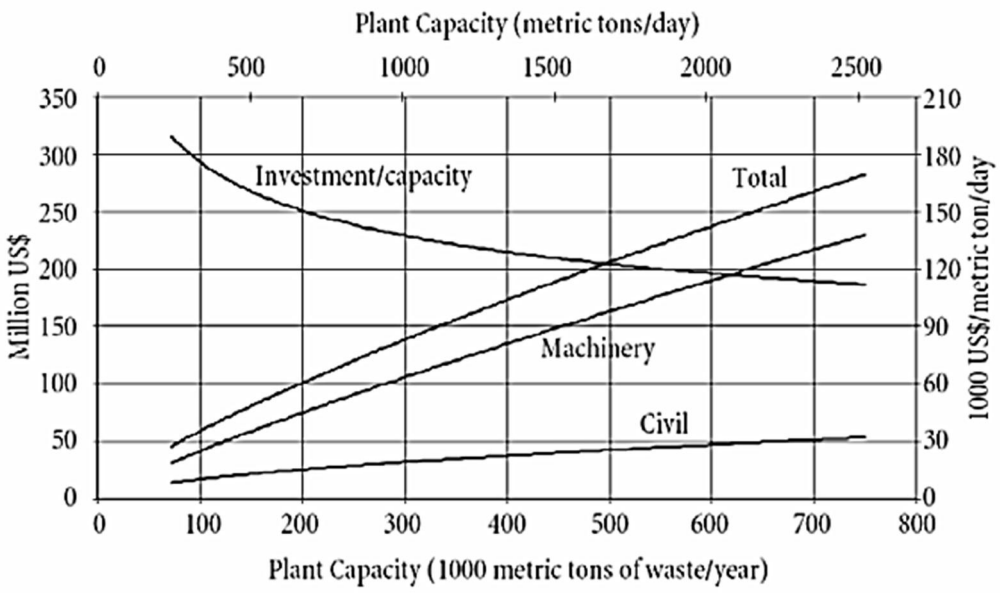
❑ ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ชำรุดตามสภาพ (spare parts)

❑ ต้นทุนค่าบำรุงรักษาอาคาร

ต้นทุนค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานคงที่ขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ใช้ สัดส่วนของพนักงานที่มีทักษะ (ประสบการณ์) และไม่มีทักษะและอัตราเงินเดือนที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละประเทศ สำหรับต้นทุนค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานคงที่ต่อปีในประเทศเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะคิดเป็นประมาณร้อยละ 2 ของเงินลงทุนทั้งหมด

ต้นทุนค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานผันแปรจะขึ้นอยู่กับระบบควบคุมมลพิษอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่ของต้นทุนจะอยู่ที่การกำจัดกากของเสียที่ออกมาจากระบบควบคุมมลพิษอากาศโดยมีค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 100 US$ ต่อตันของกากของเสียที่ออกมาและเท่ากับ 5 US$ สำหรับขี้เถ้าที่ออกมาจากเตาเผา และทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานผันแปรจะคิดเป็น 12 US$ ต่อตันของขยะมูลฝอยที่เข้าไปกำจัดในโรงเผา

สำหรับต้นทุนค่าใช้จ่ายเพื่อการบำรุงรักษาจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ แต่โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าประมาณร้อยละ 1 ของเงินลงทุนสำหรับงานโยธา และคิดเป็นร้อยละ 2.5 ของเงินลงทุนสำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์




**เงินลงทุนระบบเตาเผาขยะมูลฝอย**

### 2) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผาขยะเทคโนโลยี Gasification

ในปัจจุบันเทคโนโลยี Gasification นับได้ว่ามีการพัฒนาจนถึงระดับแข่งขันในเชิงพาณิชย์ได้บ้างแล้ว ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้กับถ่านหินในการผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ในด้านการลงทุนนับว่ายังสูงอยู่ แต่ก็มีแนวโน้มว่าจะลดลงการศึกษาการลงทุนนั้น เบื้องต้นขึ้นอยู่กับรายละเอียดของเทคโนโลยี Gasification ที่เลือกใช้ว่าเป็นประเภทใด ซึ่งจะมีความแตกต่างกันของขนาด และกระบวนการ

### 3) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะชุมชน

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เช่น การคัดแยก การลดขนาด ขยะมูลฝอยที่ได้ออกมาจะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่า ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ ประกอบไปด้วยขั้นตอนจัดการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการคัดแยก การลดขนาด เป็นต้น เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงขยะที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติของขยะมูลฝอย ซึ่งมีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อุปกรณ์ที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ประยุกต์การใช้งานมาจากอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ ซึ่งในบางครั้งอาจจะยังไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานกับขยะชุมชน ทำให้มีปัญหาเรื่องความเชื่อมั่นในการใช้งาน และการนำอุปกรณ์จากอุตสาหกรรมประเภทอื่นมาประยุกต์ใช้งานทำให้มีปัญหาในการเลือกขนาดของอุปกรณ์แต่ละชนิดให้มีความสัมพันธ์กันตลอดกันทั้งกระบวนการผลิต

### 4) เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความพร้อมทางด้านเทคนิคสำหรับใช้เป็นทางเลือกในการผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยสำหรับประเทศไทย ทางด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะอาด สำหรับการผลิตพลังงานความร้อน ไฟฟ้า/ในขณะเดียวกันก็มีคุณประโยชน์ในการหมุนเวียนธาตุอาหารจากขยะมูลฝอยอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารปรับสภาพดิน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูก เพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ยังสามารถช่วยลดปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดขยะมูลฝอย เนื่องจากสามารถลดกลิ่นของขยะมูลฝอย กำจัดเชื้อโรค และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศโลก

อย่างไรก็ตาม ในด้านเศรษฐกิจการลงทุน การผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยโดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก็จะมีสถานภาพใกล้เคียงกับการผลิตพลังงานจากพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่นๆ ทั่วไป ซึ่งความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจการลงทุน จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ โดยการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ควรต้องพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

- คุณภาพของขยะมูลฝอย
- กรณีแวดล้อมเฉพาะของแต่ละพื้นที่
- ราคาและตลาดของสารปรับสภาพดิน
- อัตราค่าไฟฟ้า
- ราคาที่ดิน
- ความเป็นไปได้ในการส่งพลังงานที่ผลิตได้ออกสู่ภายนอก
- นโยบายของรัฐในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพและพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ
- ค่าลงทุน ค่าเดินระบบ และต้นทุนสุทธิ(Net Cost) ของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเทคโนโลยีทางเลือกอื่นๆ

### ➢ คุณภาพของขยะมูลฝอย

ในทางด้านเทคนิค ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถออกแบบให้สอดคล้องกับคุณภาพของขยะมูลฝอยจากแหล่งขยะมูลฝอยต่างๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจการลงทุนของการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะเกี่ยวข้องกับคุณภาพของขยะมูลฝอยของแหล่งขยะชุมชนต่างๆ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อค่าลงทุน ค่าดำเนินการ และรายได้ที่จะได้รับจากโครงการ โดยต้นทุนในการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะแปรผันตรงกับความซับซ้อนของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบ โดยหากขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบเป็นขยะมูลฝอยรวม ก็จะทำให้มีต้นทุนสูงกว่ากรณีที่ขยะมูลฝอยซึ่งเข้าสู่ระบบเป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดหรือกรณีที่เป็นการหมักร่วมกับของเสียชนิดอื่น แบบ Co-Digestion ทั้งนี้เนื่องจากการการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยรวมจะต้องการระบบ Front-end Treatment ที่มีการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้นในการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยรวม รวมทั้งจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะอินทรีย์ที่คัดแยกได้เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องจักรอุปกรณ์และระบบต่อเนื่องต่างๆ เช่น เครื่องย่อยขยะอินทรีย์ หรือเครื่องสูบ ซึ่งจะเสียหายได้ง่ายเมื่อมีโลหะหรือกรวด ทราย ปะปนเข้าไปด้วย ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งตะแกรงคัดแยกขยะเพื่อคัดแยกสิ่งปะปน เช่น เศษพลาสติก เศษไม้ ออกจากสารปรับสภาพดิน (ในขั้นตอน Back-end Treatment) เพื่อให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยจากการออกแบบและประมาณราคาเบื้องต้นของบริษัทที่ปรึกษา พบว่า การใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในการบำบัดขยะมูลฝอยรวมจะมีต้นทุนสูงกว่าการบำบัดขยะอินทรีย์ที่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีปริมาณขยะอินทรีย์เข้าสู่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เท่ากัน คือ 100 ตันต่อวัน นอกจากนี้ปริมาณขยะอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในขยะมูลฝอยรวมก็จะมีผลต่อต้นทุนสุทธิในการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเช่นกัน โดยพบว่าการบำบัดขยะมูลฝอยรวมที่มีปริมาณขยะอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงจะทำให้ต้นทุนสุทธิในการบำบัดขยะต่อตันลดลง

ปัจจัยทางด้านคุณภาพขยะมูลฝอยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อต้นทุน คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS Content) และปริมาณของแข็งระเหย (VS Content) ของขยะอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการกำหนดขนาดถัง และเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบรวมทั้งจะมีผลต่อรายได้ของโครงการ เนื่องจากจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณก๊าซชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากระบบแม้ว่าโดยทั่วไปเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชน รวมทั้งคุณภาพของขยะมูลฝอยจากแหล่งชุมชนต่างๆ ก็อาจจะใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะต้องพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจการลงทุนของโครงการก่อนการตัดสินใจ ผู้ลงทุนควรให้ความสำคัญกับการศึกษาคุณภาพของขยะมูลฝอย เนื่องจากจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับต้นทุนและรายได้ของ

โครงการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้การที่แหล่งขยะชุมชนต่างๆ ให้ความสำคัญการคัดแยกขยะมูลฝอยจากบ้านเรือน ก็จะเป็นส่วนที่เสริมให้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้นกรณีแวดล้อมเฉพาะของแต่ละพื้นที่

กรณีแวดล้อมเฉพาะของแต่ละพื้นที่ที่มีผลต่อการพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจการลงทุนและเลือกใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะ แบ่งออกได้ คือ

1) ทางด้านกายภาพ ซึ่งจะหมายถึงความพร้อมด้านสาธารณูปโภคพื้นฐานและลักษณะของพื้นที่ตั้งโครงการ ซึ่งจะมีผลต่อค่าลงทุนของโครงการ

2) การยอมรับของชุมชนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่โครงการ ซึ่งจะมีผลต่อต้นทุนโครงการ เนื่องจากหากโครงการตั้งอยู่ในพื้นที่ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อความขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้นระหว่างโครงการกับชุมชน ก็จะทำให้ต้องเพิ่มการลงทุนทางด้านป้องกันมลพิษและการติดตามตรวจสอบทางด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมทั้งโครงการจะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างความสัมพันธ์กับชุมชนมากขึ้น

### ➢ ราคาที่ดิน

ราคาของที่ดินสำหรับใช้เป็นที่ตั้งโรงบำบัดขยะมูลฝอยมีผลต่อการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยี โดยหากที่ดินมีราคาถูก และสามารถจัดหาพื้นที่ได้อย่างเพียงพอ การบำบัดขยะมูลฝอยและผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรพิจารณา แต่ในกรณีที่ที่ดินมีราคาสูง รวมทั้งการจัดหาพื้นที่มีข้อจำกัด เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ก็จะเป็นทางเลือกที่น่าพิจารณา เนื่องจากใช้พื้นที่สำหรับตั้งโรงบำบัดน้อย โดยในเบื้องต้นบริษัทที่ปรึกษาได้ทำการประมาณการความต้องการพื้นที่สำหรับโรงบำบัดฯ ที่ใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งผลเป็นดังนี้

| ขนาดของระบบ (ตันต่อวัน) | 55 | 65 | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ขนาดของพื้นที่ที่ต้องการ (ไร่) | 5 | 5 | 5 | 5 | 6.5 | 7.5 | 8.5 | 9.5 |

# บทที่ 7
# การส่งเสริมการพัฒนาพลังงานจากขยะของประเทศไทย

รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดนโยบายสนับสนุนการพัฒนาการผลิตพลังงานจากขยะอย่างต่อเนื่อง โดยมีมาตรการจูงใจในระดับที่เหมาะสมเอื้อต่อการพัฒนาและเป็นธรรมต่อประชาชนทุกภาคส่วน แนวทางและมาตรการส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทยด้านการส่งเสริมพลังงานจากขยะ ภาครัฐได้กำหนดนโยบายที่จะให้การบริหารจัดการแบบครบวงจร โดยเริ่มตั้งแต่การควบคุมอัตราการเกิดขยะมูลฝอยให้ลดน้อยลงพร้อมทั้งส่งเสริมให้มีการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ ตลอดจนสนับสนุนให้ภาคเอกชนและประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการระบบและแก้ปัญหามากขึ้น ดังนี้

## 7.1 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder Cost)

มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder Cost) เป็นการให้เงินสนับสนุนการผลิตต่อหน่วยการผลิตเป็นการกำหนดราคารับซื้อในอัตราพิเศษหรือเฉพาะสำหรับไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหมุนเวียน เพื่อสะท้อนต้นทุนการผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ภายในระยะเวลารับซื้อไฟฟ้าที่ชัดเจนและแน่นอนเป็นมาตรการสนับสนุนที่นิยมใช้กันแพร่หลายมาก ที่สุดในปัจจุบัน เพื่อให้มีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นและเป็นการจูงใจให้เกิดการผลิตไฟฟ้าหลากหลายประเภทพลังงาน ดังนี้

**ตารางที่ 7-1 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder)**

| เชื้อเพลิง | ส่วนเพิ่ม (บาท/kWh) | ส่วนเพิ่มพิเศษ (บาท/kWh)[1] | ส่วนเพิ่มพิเศษใน 3 จว.ภาคใต้ (บาท/kWh)[2] | ระยะเวลาสนับสนุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|
| ❑ ชีวมวล | | | | |
| - กำลังผลิตติดตั้ง <= 1 MW | 0.50 | 1.00 | 1.00 | 7 |
| - กำลังผลิตติดตั้ง >1 MW | 0.30 | 1.00 | 1.00 | 7 |
| ❑ ก๊าซชีวภาพ (ทุกประเภทแหล่งผลิต) | | | | |
| - กำลังผลิตติดตั้ง <= 1 MW | 0.50 | 1.00 | 1.00 | 7 |
| - กำลังผลิตติดตั้ง >1 MW | 0.30 | 1.00 | 1.00 | 7 |
| ❑ **ขยะ (ขยะชุมชน ขยะอุตสาหกรรมไม่อันตรายและไม่เป็นขยะอินทรีย์วัตถุ)** | | | | |
| **- ระบบหมักหรือหลุมฝังกลบขยะ** | **2.50** | **1.00** | **1.00** | **7** |
| **- พลังงานความร้อน (Thermal Process)** | **3.50** | **1.00** | **1.00** | **7** |
| ❑ พลังงานลม | | | | |
| - กำลังผลิตติดตั้ง <= 50 kW | 4.50 | 1.50 | 1.50 | 10 |
| - กำลังผลิตติดตั้ง > 50 kW | 3.50 | 1.50 | 1.50 | 10 |
| ❑ พลังงานแสงอาทิตย์ | 6.50/8.00[3] | 1.50 | 1.50 | 10 |
| ❑ พลังน้ำขนาดเล็ก | | | | |
| - กำลังผลิตติดตั้ง 50kW -<200 kW | 0.80 | 1.00 | 1.00 | 7 |
| - กำลังการผลิตติดตั้ง <50 kW | 1.50 | 1.00 | 1.00 | 7 |

**หมายเหตุ** 1. สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่มีการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล

2. กพช. เห็นชอบให้เพิ่มพื้นที่อีก 4 อำเภอคือ อ.จะนะ อ.เทพา อ.สะบ้าย้อย และอ.นาทวี จังหวัดสงขลา เมื่อ 25 พ.ย. 53

3. ผู้ที่ยื่นขอเสนอขายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับหนังสือตอบรับแล้วก่อนวันที่ 28 มิ.ย.53 จะได้ Adder 8 บาท และผู้ที่ได้รับหนังสือตอบรับหลัง วันที่ 28 มิ.ย. 53 จะได้ Adder 6.50 บาท

## 7.2 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน

โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนขึ้นมาเพื่อเป็นแหล่งเงินทุนในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนให้แก่โรงงาน อาคาร และบริษัทจัดการพลังงาน โดยผ่านทางสถาบันการเงิน

ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้เกิดการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนรวมทั้งสร้างความมั่นใจและความคุ้นเคยให้กับสถาบันการเงินที่เสนอตัวเข้าร่วมโครงการในการปล่อยสินเชื่อในโครงการดังกล่าวในการปล่อยสินเชื่อโดยใช้เงินกองทุนฯ ให้แก่ โรงงานอาคารและบริษัทจัดการพลังงานแล้วกองทุนฯ ยังต้องการให้เน้นการมีส่วนร่วมในการสมทบเงินจากสถาบันการเงินเพิ่มมากขึ้นด้วยโดยตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึง ณ ปัจจุบันได้มีการดำเนินการเสร็จสิ้นไปแล้วและอยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด จำนวน 6 ครั้งดังนี้

1) โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสถาบันการเงินระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2) โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสถาบันการเงินระยะที่ 2 จำนวน 2,000 ล้านบาทเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

3) โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนโดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาทเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน

4) โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยสถาบันการเงินระยะที่ 3 จำนวน 1,000 ล้านบาทเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

6) โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 3 เพิ่มเติม จำนวน 942.5 ล้านบาทเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

7) โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยสถาบันการเงินระยะที่ 4 จำนวน 400 ล้านบาทเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

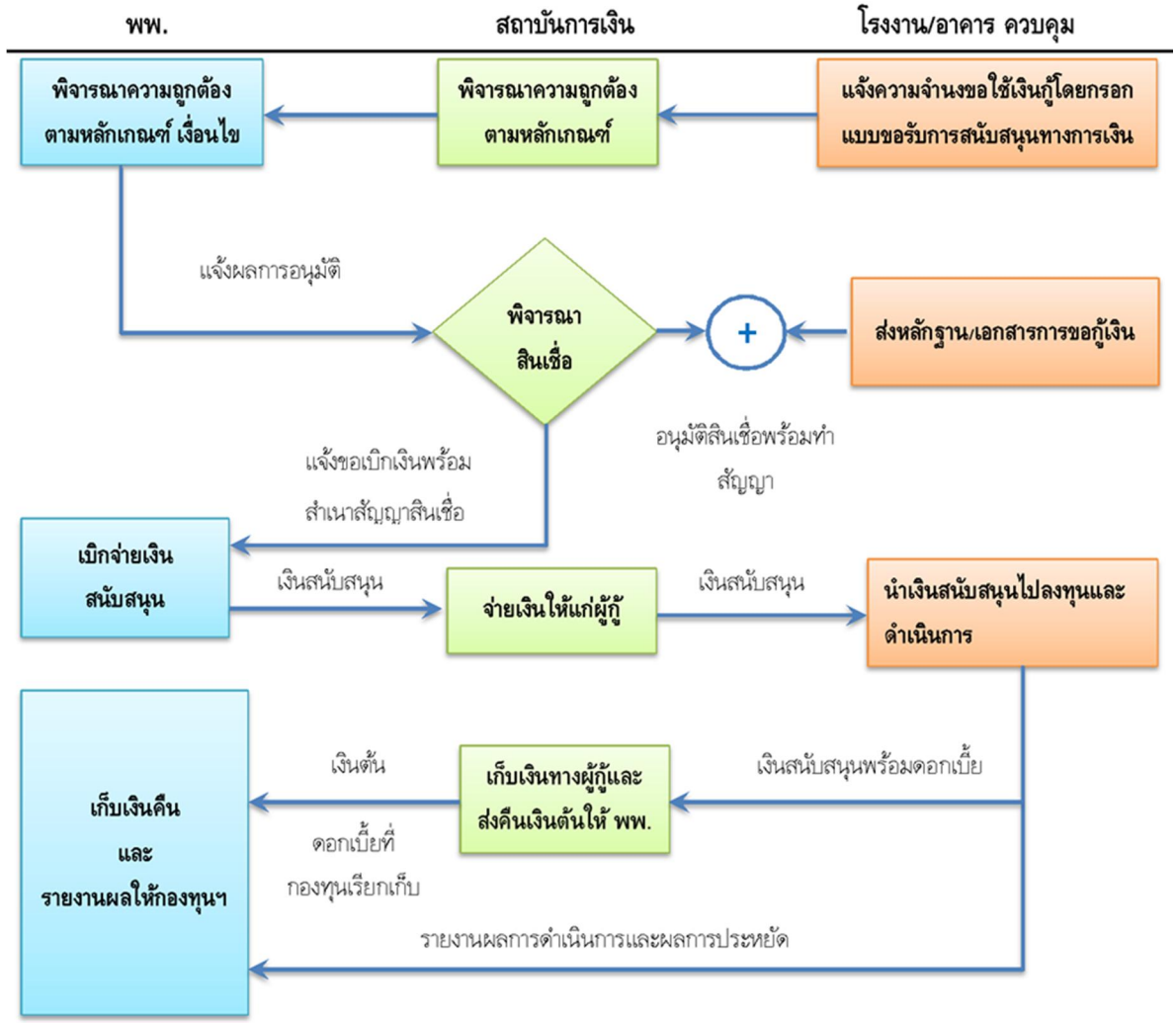
### ลักษณะโครงการ/หลักเกณฑ์ และเงื่อนไข

กำหนดให้สถาบันการเงินนำเงินที่ พพ.จัดสรรให้ไปเป็นเงินกู้ผ่านต่อให้โรงงาน/อาคารควบคุมหรือโรงงาน/อาคารทั่วไปตลอดจนบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน โดยมีหลักเกณฑ์และเงื่อนไขดังนี้

| | |
|---|---|
| **วงเงินโครงการ** | 1. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท<br>2. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 จำนวน 1,000 ล้านบาท |
| **อายุเงินกู้** | ไม่เกิน 7 ปี |

| | |
|---|---|
| **ช่องทางปล่อยกู้** | ผ่านสถาบันการเงินที่เข้าร่วมโครงการโดยต้องรับผิดชอบเงินที่ปล่อยกู้ทั้งหมด |
| **ผู้มีสิทธิ์กู้** | เป็นอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมตาม พรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ประสงค์จะลงทุนในด้านการประหยัดพลังงานหรือโรงงาน/อาคารทั่วไป ตลอดจนบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน |
| **วงเงินกู้** | ไม่เกิน 50 ล้านบาทต่อโครงการ |
| **อัตราดอกเบี้ย** | ไม่เกินร้อยละ 4 ต่อปี (ระหว่างสถาบันการเงินกับผู้กู้) |
| **โครงการที่มีสิทธิ์ขอรับการสนับสนุนต้องเป็น** | โครงการอนุรักษ์พลังงานหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มาตรา 7 และมาตรา 17 |

สถาบันการเงินจะเป็นผู้อนุมัติเงินกู้เพื่อโครงการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนตามแนวหลักเกณฑ์และเงื่อนไขของสถาบันการเงินนั้นๆ นอกเหนือจากหลักเกณฑ์เงื่อนไขข้างต้นนี้โดยดอกเบี้ยวงเงินกู้และระยะเวลาการกู้จะขึ้นอยู่กับการพิจารณาและข้อตกลงระหว่างผู้กู้กับสถาบันการเงิน ขั้นตอนการขอรับการสนับสนุน




**วิธีปฏิบัติในการขอรับเงินกู้โครงการเงินทุนหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน**

รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อสอบถามมายังศูนย์อำนวยการโครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

หมายเลขโทรศัพท์ 0-2226-3850-1, 0-2225-3106 โทรสาร 02-226-3851 เว็บไซต์ http://www.dede.go.th

## 7.3 โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (ESCO FUND)

เป็นโครงการที่กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้นำวงเงินจำนวน 500 ล้านบาท จัดตั้ง “กองทุนร่วมทุนพลังงาน หรือ ESCO Capital Fund” ผ่านการจัดการของผู้จัดการกองทุน (Fund Manager) 2 แห่ง ได้แก่ มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส. หรือ E for E) และมูลนิธิอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย (มอพท.) โดยปัจจุบัน Fund Manage ทั้ง 2 แห่ง เข้าร่วมลงทุนแล้ว จำนวน 26 โครงการ คิดเป็นเงินสนับสนุนจำนวน 407 ล้านบาท และก่อให้เกิดการลงทุนมากกว่า 5,000 ล้านบาท ในรอบ 2 ปีที่ผ่านมา และในระยะต่อไปคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้อนุมัติวงเงินต่อเนื่องอีก 500 ล้านบาทสำหรับรอบการลงทุนในปี 2553-2555 เพื่อส่งเสริมการลงทุนด้านการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพทางเทคนิคแต่ยังขาดปัจจัยการลงทุนและช่วยผู้ประกอบการหรือผู้ลงทุนให้ได้ประโยชน์จากการขายคาร์บอนเครดิตโดยมีรูปแบบการจะส่งเสริมในหลายลักษณะ อาทิเช่น ร่วมลงทุนในโครงการ (Equity Investment), ร่วมลงทุนในบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO Venture Capital) , ร่วมลงทุนในการพัฒนาและซื้อขายคาร์บอนเครดิต (Carbon Market), การเช่าซื้ออุปกรณ์ (Equipment Leasing), การอำนวยเครดิตให้สินเชื่อ (Credit Guarantee Facility) และการให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค (Technical Assistance)

ผู้มีสิทธิยื่นข้อเสนอ ได้แก่ ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมและ/หรือ บริษัทจัดการพลังงาน (Energy Service Company – ESCO) ที่มีโครงการด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนวัตถุประสงค์เพื่อจะลดปริมาณการใช้พลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือต้องการปรับเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานทดแทน

### ลักษณะการส่งเสริมการลงทุน

1. การเข้าร่วมทุนในโครงการ (Equity Investment) โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะเข้าร่วมลงทุนในโครงการที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานหรือพลังงานทดแทนเท่านั้น เพื่อก่อให้เกิดผลประหยัดพลังงาน ทั้งนี้จะต้องมีการแบ่งผลประหยัดพลังงาน (Shared Saving) ตามสัดส่วนเงินลงทุนที่ได้รับการส่งเสริม ระยะเวลาในการส่งเสริมประมาณ 5 - 7 ปีผู้ที่ได้รับการส่งเสริมทำการคืนเงินลงทุนแก่โครงการภายในระยะเวลาที่ส่งเสริม

2. การเข้าร่วมทุนกับบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO Venture Capital)การเข้าร่วมทุนกับบริษัทจัดการพลังงานโดยช่วยให้บริษัทที่ได้รับพิจารณาร่วมทุนนั้นมีทุนในการประกอบการโดยโครงการจะได้รับผลตอบแทนขึ้นอยู่กับผลประกอบการของบริษัททั้งนี้โครงการจะร่วมหุ้นไม่เกินร้อยละ 30 ของทุนจดทะเบียนและมีส่วนในการควบคุมดูแลการบริหารจัดการของบริษัท

3. การช่วยให้โครงการอนุรักษ์พลังงาน/พลังงานทดแทนได้รับผลประโยชน์จากการขาย Carbon Credit Market (CDM)

4. โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะดำเนินการจัดทำแบบประเมินเบื้องต้นของโครงการ หรือ Project Idea Note (PIN) ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถเห็นภาพรวมของโครงการที่จะพัฒนาให้เกิดการซื้อขายหรือได้รับประโยชน์จาก Carbon Credit หรือ เป็นตัวกลางในการรับซื้อ Carbon Credit จากโครงการอนุรักษ์พลังงาน/พลังงานทดแทนที่มีขนาดเล็ก และรวบรวม (Bundle Up) เพื่อนำไปขายในมูลค่าที่สูงขึ้น

5. การเช่าซื้ออุปกรณ์ประหยัดพลังงาน/พลังงานทดแทน (Equipment Leasing)

6. โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะทำการซื้ออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนให้กับผู้ประกอบการก่อนและทำสัญญาเช่าซื้อระยะยาวระหว่างผู้ประกอบการกับโครงการโดยผู้ประกอบการจะต้องทำการผ่อนชำระคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยเป็นรายงวดงวดละเท่า ๆ กันตลอดอายุสัญญาเช่าซื้อ การสนับสนุนในการเช่าซื้ออุปกรณ์ได้ 100% ของราคาอุปกรณ์นั้น แต่ไม่เกิน 10 ล้านบาท ระยะเวลาการผ่อนชำระคืน 3-5 ปีโดยคิดอัตราดอกเบี้ยต่ำ

7. การอำนวยเครดิตให้สินเชื่อ (Credit Guarantee Facility) โครงการส่งเสริมการลงทุนฯจะดำเนินการจัดหาสถาบันหรือองค์กรที่ให้การสนับสนุนในเรื่อง Credit Guarantee เพื่อให้โครงการลงทุนได้รับการปล่อยสินเชื่อจากธนาคารพาณิชย์ทั้งนี้โครงการอาจจะเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าธรรมเนียมรับประกันสินเชื่อทั้งหมดหรือบางส่วนโดยคิดค่าธรรมเนียมต่ำในการส่งเสริมในด้านนี้

8. การช่วยเหลือทางเทคนิค (Technical Assistance) โครงการส่งเสริมการลงทุนฯ จะให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานแก่ผู้ประกอบการหรือ หน่วยงานองค์การต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบการโดยกองทุนจะให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดระยะเวลาโครงการโดยคิดค่าธรรมเนียมต่ำในการส่งเสริมหรือ อาจมีการแบ่งผลการประหยัดพลังงาน

**รูปแสดงการบริหารงานโครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน**

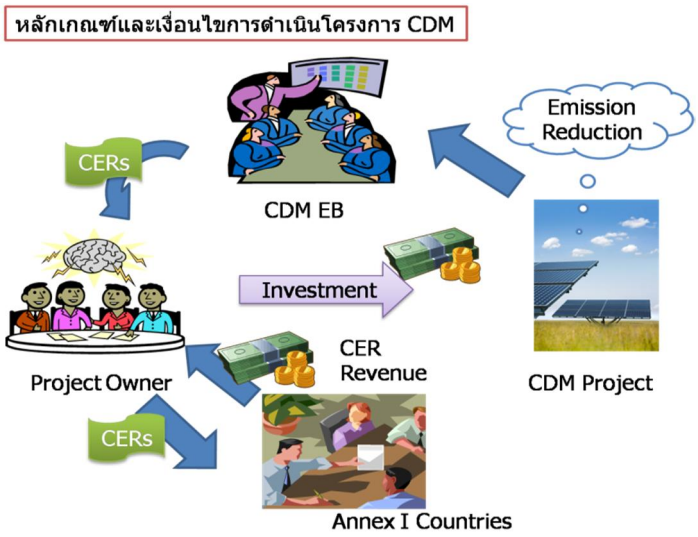
**สามารถสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่**

1. มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (Energy for Environment Foundation)
   487/1 อาคารศรีอยุธยา ชั้น 14 ถนนศรีอยุธยา ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
   โทรศัพท์ 02-6426424 -5 โทรสาร 02-642-6426
   หรือสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่escofund@efe.or.th
2. มูลนิธิอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย
   (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน – อาคาร 9 ชั้น 2)
   เลขที่ 17 ถนนพระราม 1 เชิงสะพานกษัตริย์ศึก แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
   โทรศัพท์: 0-2621-8530, 0-2621-8531-9 ต่อ 501, 502 โทรสาร: 0-2621-8502-3

## 7.4 กลไกลการพัฒนาที่สะอาด (CDM)

กลไกการพัฒนาที่สะอาด Clean Development Mechanism (CDM) เป็นกลไกที่จะสนับสนุนการพัฒนาโครงการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสามารถนำปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากโครงการ ไปขายให้กับประเทศที่พัฒนา (Developed Countries) เพื่อตอบสนองข้อผูกพันในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเป้าหมายที่ได้ตกลงในพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ซึ่งมีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2548 อันเนื่องมาจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมดำรงชีวิตของประชากรโลกในปัจจุบัน ทั้งจากภาคคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม เป็นปัญหาร่วมกันของนานาชาติแนวทางหนึ่งในการร่วมกันแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)

กลไกการพัฒนาที่สะอาดเป็นเครื่องมือเพื่อส่งเสริมการลงทุนเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนและเกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับประเทศที่กำลังพัฒนา อย่างเช่น ประเทศไทยและถือเป็นช่องทางหนึ่งในการสร้างรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการพลังงานทดแทน เช่น โครงการผลิตพลังงานชีวมวล ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทิ้งทางการเกษตร การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะและน้ำเสียเพื่อนำมาเป็นพลังงาน รวมไปถึงโครงการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะได้รับผลประโยชน์ในรูปแบบของการขายคาร์บอนเครดิตหรือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ และเป็นที่ต้องการของกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งมีพันธกรณีต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ ตามข้อตกลงตามพิธีสารเกียวโต




กลไกการพัฒนาที่สะอาดเปรียบเสมือนแรงจูงใจให้ประเทศกำลังพัฒนาหันมาใช้เทคโนโลยีสะอาดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศลดน้อยลงแรงจูงใจจากการดำเนินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด คือ คาร์บอนเครดิต หรือ CER ที่ผู้ดำเนินโครงการจะได้รับโดยได้รับการสนับสนุนทางการเงินจากประเทศที่มีพันธกรณีในการลดก๊าซเรือนกระจกนอกจากนี้ประเทศเจ้าของโครงการก็จะเกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศในด้านสิ่งแวดล้อมมีการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมระดับชุมชนในพื้นที่โครงการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นโดยการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถทดแทนได้ ด้านเศรษฐกิจก่อให้เกิดการจ้างงานในชุมชนเกษตรกรสามารถนำวัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบ เศษไม้ไปขายเพื่อเป็นวัตถุดิบในการดำเนินโครงการ CDM ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงพลังงานจากต่างประเทศ ด้านสังคมประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นโดยเฉพาะด้าน

สุขภาพอนามัยจากคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นมีบทบาทในเวทีโลกในการแก้ไขปัญหาระดับนานาชาติโดยประโยชน์ต่างๆที่ประเทศไทยจะได้รับ จากการดำเนินโครงการ CDM สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตในโครงการ CDM เป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้ประกอบการคืนทุนได้รวดเร็วขึ้นจากการพัฒนาโครงการด้านพลังงานทดแทนการอนุรักษ์พลังงาน นอกเหนือจากการสนับสนุนของภาครัฐภายในประเทศ
2. เกิดรายได้เข้าสู่ประเทศจากการดำเนินกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจก
3. ประเทศไทยมีอัตราการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงจากการดำเนินโครงการ CDM
4. การตรวจสอบ (Monitoring) ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ CDM ช่วยให้ประเทศไทยมีตัวเลขการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศไทย
5. เกิดการพัฒนาโครงการด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ดีกว่ามาตรฐานที่กำหนดภายในประเทศ สร้างสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตที่ดีให้กับชุมชนรอบพื้นที่โครงการ

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาการดำเนินโครงการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดในปัจจุบันนั้นประเทศไทย ได้มีการจัดทำหลักเกณฑ์การพัฒนาอย่างยั่งยืนสำหรับโครงการ CDM ขึ้นซึ่งประกอบด้วยมิติการพัฒนาอย่างยั่งยืน 4 ด้านได้แก่ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้านสังคมด้านการพัฒนาและ/หรือการถ่ายทอดเทคโนโลยีและด้านเศรษฐกิจโดยโครงการที่คณะกรรมการองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกจะพิจารณาให้การรับรองได้แก่

1. โครงการด้านพลังงาน ได้แก่การผลิตพลังงานและการปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เช่นโครงการพลังงานทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โครงการแปลงกากของอุตสาหกรรมเป็นพลังงาน โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำความเย็นและโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในอาคาร เป็นต้น
2. โครงการด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการแปลงขยะเป็นพลังงานโครงการแปลงน้ำเสียเป็นพลังงาน เป็นต้น
3. โครงการด้านคมนาคมขนส่ง เช่นโครงการเพิ่มประสิทธิภาพในการคมนาคมขนส่งและการใช้พลังงาน
4. โครงการด้านอุตสาหกรรม เช่นโครงการที่สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการอุตสาหกรรม

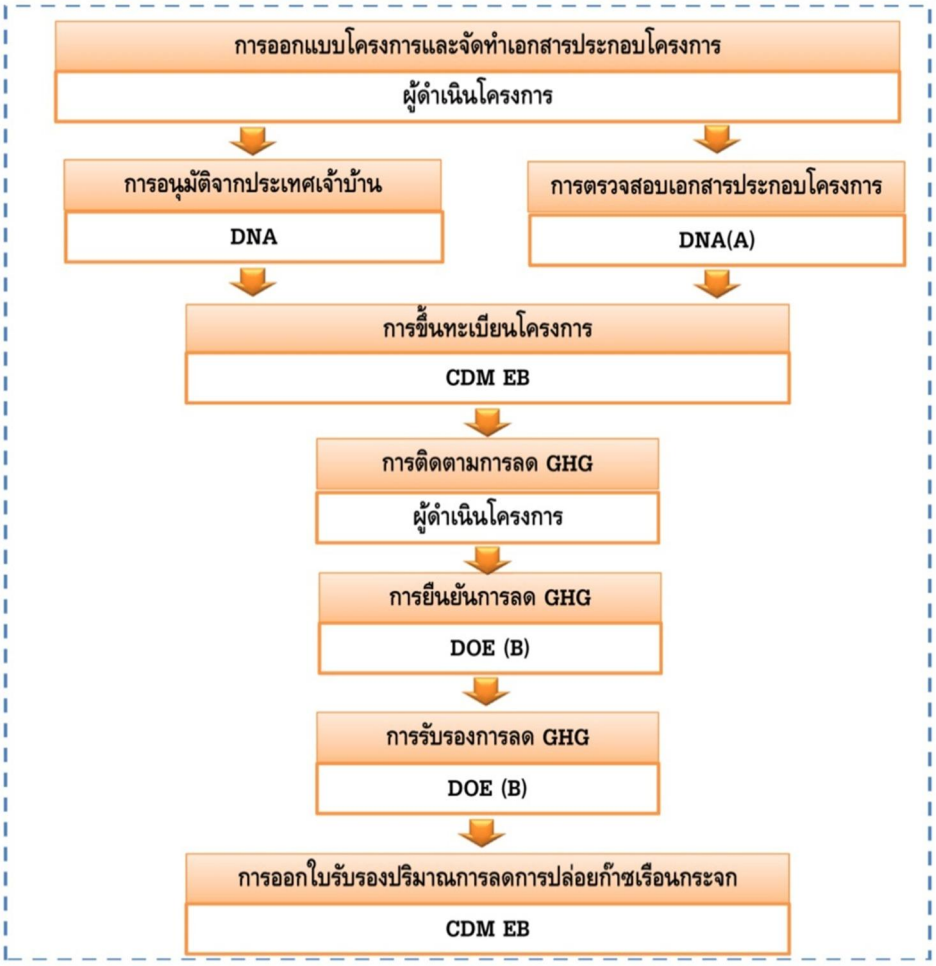
### การขอพัฒนาโครงการ CDM

การดำเนินโครงการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน รายละเอียดแสดงดังนี้

1. การออกแบบโครงการ (Project Design) ผู้ดำเนินโครงการจะต้องออกแบบลักษณะของโครงการและจัดทำเอกสารประกอบโครงการ (Project Design Document: PDD) โดยมีการกำหนด

ขอบเขตของโครงการ วิธีการคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก วิธีการในการติดตามผลการลดก๊าซเรือนกระจก การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2. การตรวจสอบเอกสารประกอบโครงการ (Validation) ผู้ดำเนินโครงการจะต้องว่าจ้างหน่วยงานกลางที่ได้รับมอบหมายในการปฏิบัติหน้าที่แทนคณะกรรมการบริหารฯ หรือที่เรียกว่า Designated Operational Entity (DOE) ในการตรวจสอบเอกสารประกอบโครงการ ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ หรือไม่ ซึ่งรวมถึงการได้รับความเห็นชอบในการดำเนินโครงการจากประเทศเจ้าบ้านด้วย
3. การขึ้นทะเบียนโครงการ (Registration) เมื่อ DOE ได้ทำการตรวจสอบเอกสารประกอบโครงการและลงความเห็นว่าผ่านข้อกำหนดต่างๆ ครบถ้วน จะส่งรายงานไปยังคณะกรรมการบริหารกลไกการพัฒนาที่สะอาด (EB) เพื่อขอขึ้นทะเบียนโครงการ
4. การติดตามการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Monitoring) เมื่อโครงการได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นโครงการ CDM แล้ว ผู้ดำเนินโครงการจึงดำเนินโครงการตามที่เสนอไว้ในเอกสารประกอบโครงการและทำการติดตามการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามที่ได้เสนอไว้เช่นกัน




***หมายเหตุ***

***DNA*** *หมายถึง หน่วยงานกลางที่ทำหน้าที่ประสานการดำเนินงานตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด*

***DOE*** *หมายถึง หน่วยงานปฏิบัติการที่ได้รับหมอบหมายในการตรวจสอบ (Designated Operational Entities)*

***CDM EB*** *หมายถึง คณะกรรมการบริหารกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Executive Board of CDM)*

5. การยืนยันการลดก๊าซเรือนกระจก (Verification) ผู้ดำเนินโครงการจะต้องว่าจ้างหน่วยงาน DOE ให้ทำการตรวจสอบและยืนยันการติดตามการลดก๊าซเรือนกระจก
6. การรับรองการลดก๊าซเรือนกระจก (Certification) เมื่อหน่วยงาน DOE ได้ทำการตรวจสอบการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว จะทำรายงานรับรองปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ดำเนินการได้จริงต่อคณะกรรมการบริหารฯ เพื่อขออนุมัติให้ออกหนังสือรับรองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ หรือ CER ให้ผู้ดำเนินโครงการ
7. การออกใบรับรองปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Issuance of CER) เมื่อคณะกรรมการบริหารฯ ได้รับรายงานรับรองการลดก๊าซเรือนกระจก จะได้พิจารณาออกหนังสือรับรองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ หรือ CER ให้ผู้ดำเนินโครงการต่อไป

ทั้งนี้ หน่วยงานกลาง (DOE) ที่ทำหน้าที่ในการการตรวจสอบเอกสารประกอบโครงการ (Validation) และการยืนยันการลดก๊าซเรือนกระจก (Verification) นั้น จะต้องเป็นหน่วยงานคนละหน่วยงาน

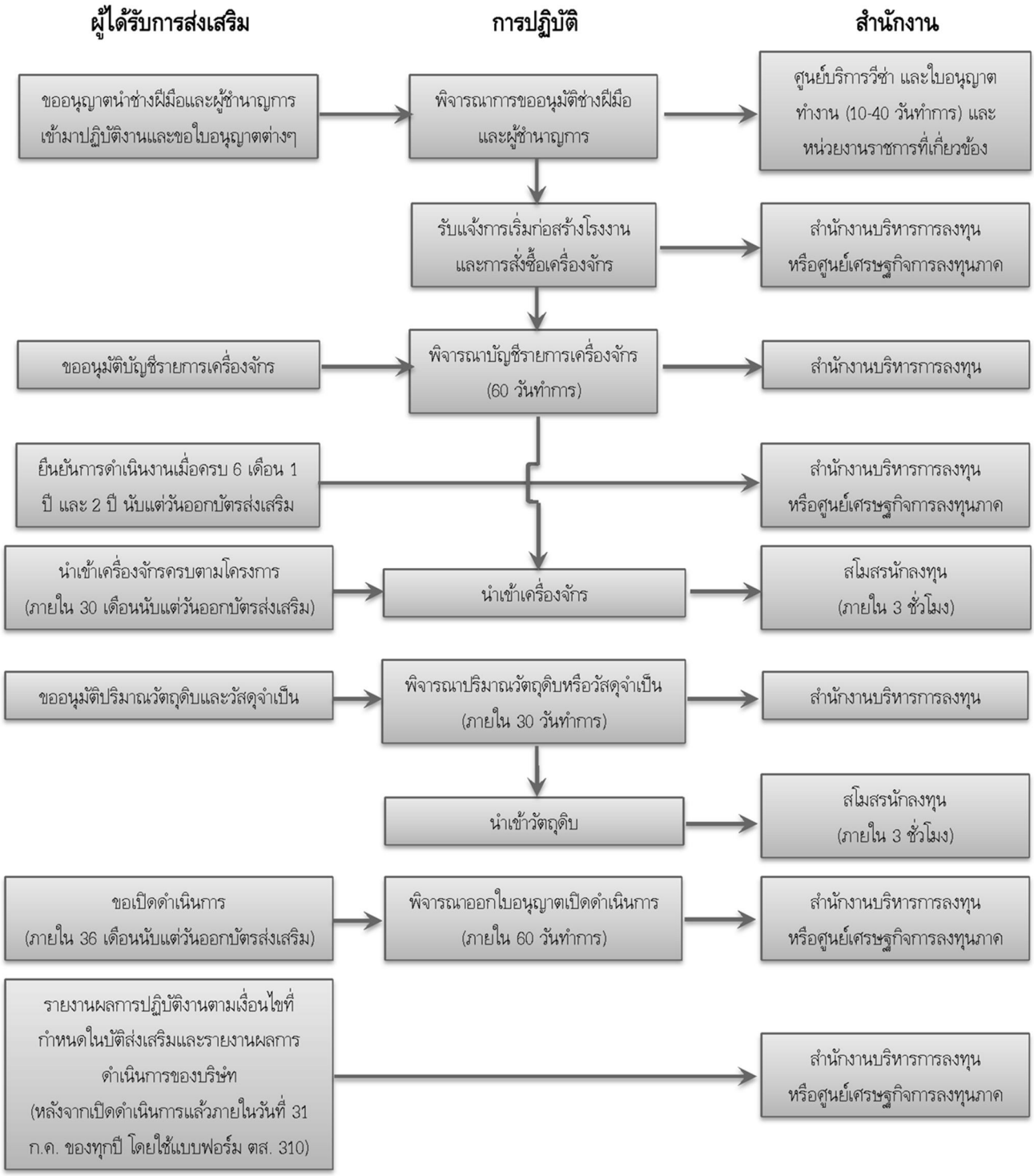
ขอทราบรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อสอบถามมายัง **องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)** เลขที่ 120 หมู่ที่ 3 ชั้น 9 อาคาร B ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติฯ ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทรศัพท์ 0 2141 9790 โทรสาร 0 2143 8400 เว็บไซต์ http://www.tgo.or.th

## 7.5 โครงการส่งเสริมการลงทุน โดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI)

ภาครัฐได้ยกระดับให้อุตสาหกรรมพลังงานทดแทน เป็นกิจการที่มีระดับความสำคัญสูงสุด และจะได้รับการส่งเสริมการลงทุนในระดับสูงสุดเช่นกัน จึงมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน (Maximum incentive) จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ซึ่งได้กำหนดสิทธิประโยชน์ที่ยกเว้นอากรขาเข้าสำหรับเครื่องจักร ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล เป็นเวลา 8 ปี และหลังจากนั้นอีก 5 ปี หรือตั้งแต่ปีที่ 9-13 จะลดหย่อนภาษีเงินได้นิติบุคคลได้ 50% รวมทั้งมาตรการจูงใจด้านภาษี อาทิ การลดภาษีเครื่องจักร อุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งการอนุญาตให้นำต้นทุนในการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น ไฟฟ้า ประปา ขอหักลบภาษีได้สูงสุด 2 เท่าสำหรับโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ เป็นต้น

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาส่งเสริมโครงการด้านพลังงานทดแทน ได้แก่ กรณีที่ผู้ประกอบการหรือนักลงทุนมีสัดส่วนหนี้ต่อทุน น้อยกว่า 3 ต่อ 1 สำหรับโครงการใหม่ หรือมีเครื่องจักรใหม่ที่มีขบวนการผลิตที่สมัย หรือมีระบบจัดการที่ปลอดภัย รักษาสิ่งแวดล้อม และใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบในการผลิต เป็นต้น

โดยผู้ประกอบหรือนักลงทุนที่สนใจขอทราบรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อสอบถามยัง สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเลขที่ 555 ถ.วิภาวดี รังสิต จตุจักรกรุงเทพฯ 10900 โทร (662) 537-8111, 537-8155 โทรสาร (662) 537-8177E-mail : head@boi.go.th Website : http://www.boi.go.th

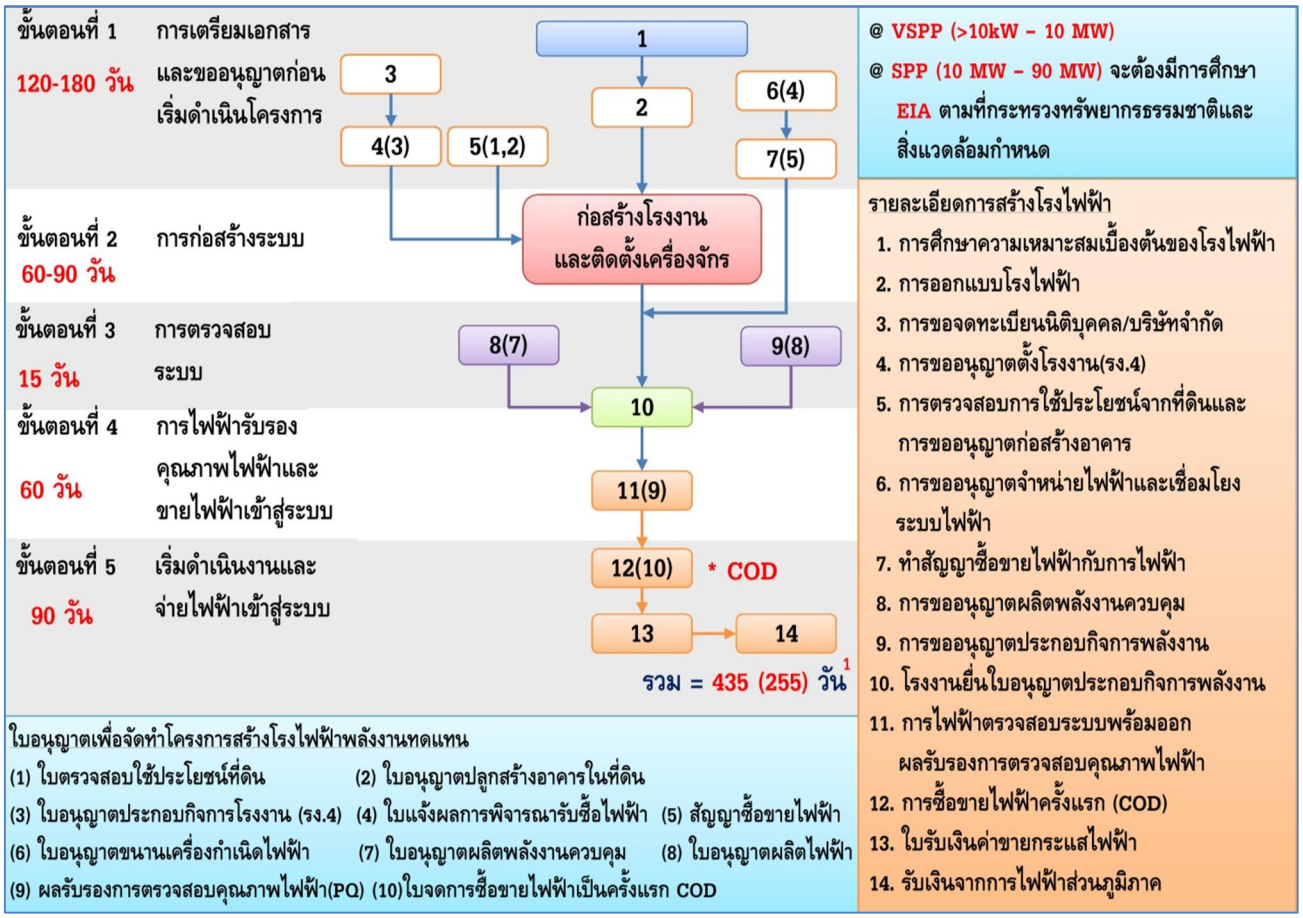



รูปแสดงแสดงขั้นตอนขอรับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน(BOI)

# บทที่ 8

# ขั้นตอนการขอใบอนุญาตต่างๆ

ขั้นตอนการติดต่อเพื่อขอใบอนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อจำหน่ายพัฒนาพลังงานทดแทน มีหลายกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับหน่วยงานราชการต่างๆ หลายแห่ง รวมไปถึงข้อกฎหมาย และกฎระเบียบอื่นๆ ซึ่งล้วนแต่มีขั้นตอนการปฏิบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งในการพัฒนาโครงการพลังงานทดแทนต่างๆนั้น นักลงทุนควรได้รับทราบขั้นตอนการขออนุญาต และการเตรียมเอกสารเพื่อประกอบในการยื่นขอ รวมถึงขั้นตอนการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประเด็นเหล่านี้ถือเป็นความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการและประชาชนโดยทั่วไป ได้รับทราบและเข้าใจในกระบวนการสำหรับขั้นตอนการขออนุญาตต่างๆ โดยทั่วกัน




[1] **หมายเหตุ** 1) ระยะเวลารวมการยื่นของอนุมัติสูงสุดไม่เกิน 435 วัน

2) ระยะเวลารวมการยื่นขอจนกระทั่งอนุมัติต่ำสุดไม่เกิน 255 วัน (ไม่นับรวมระยะเวลาในขั้นตอนที่ 2)

3) การติดต่อประสานงานหน่วยงานราชการมี 7 หน่วยงาน ต้องได้รับใบอนุญาต 10 ใบ รวมเวลาตั้งแต่เริ่มยื่นเอกสารจนได้รับเงินค่าไฟฟ้าในงวดแรก

**รูปแสดงขั้นตอนการขอใบอนุญาตต่างๆ**

**ตารางที่ 8-1 รายละเอียดขั้นตอนการจัดทำโครงการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน**

| รายการ | หน่วยงานที่รับผิดชอบ | ชื่อคำขอ/คำร้อง/เอกสาร | วัน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 1. การศึกษาความเหมาะสมของโครงการ | ผู้ประกอบการ | - | - | |
| 2. การออกแบบโครงสร้างอาคาร สิ่งปลูกสร้างและออกแบบแผนผังการติดตั้งเครื่องจักร และประเมินราคาวัสดุ | ผู้ประกอบการ | - | - | |
| 3. การขอจดทะเบียนนิติบุคล<br>- ผู้ประกอบการยื่นแบบคำขอ “จดทะเบียนบริษัทจำกัด” กับกรมพัฒนาธุรกิจการค้า(DEB)<br>- กรมธุรกิจการค้าอนุมัติ “จดทะเบียนบริษัทจำกัด” | กรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ | - คำขอจดทะเบียนบริษัทจำกัด (บอจ.1)<br>- รายการจดทะเบียนจัดตั้ง | 1 | โดยสามารถยื่นแบบคำขอผ่าน www.dbd.go.th/register/login.phtml |
| 4. การขออนุญาตตั้งโรงงาน (รง.4)<br>a. กรณียื่นแบบคำขอตั้งโรงงานต่ออุตสาหกรรมจังหวัด (อก.)<br>- ยื่นเอกสารกับอุตสาหกรรมจังหวัด<br>- อุตสาหกรรมจังหวัดขอความเห็น อบต. และตรวจสอบพื้นที่ และจัดทำรายงานการตรวจสอบภายใน 30 วัน<br>- อุตสาหกรรมจังหวัดปิดประกาศตามมาตร 30 15 วัน | -อุตสาหกรรมจังหวัด<br>-กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม | คำขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน (รง.3) | 90 | - แก้ไขตามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือระหว่างคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานและกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง แนวทางการให้อนุญาตตั้งโรงงานและการอื่นเพื่อประกอบกิจการพลังงาน<br>- โรงงานทั่วไปที่ตั้งใหม่โดยมีการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตของตนเอง หรือเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตและส่วนที่เหลือใช้จำหน่าย ให้ยื่นคำขออนุญาตประกอบกิจการ |

| รายการ | หน่วยงานที่รับผิดชอบ | ชื่อคำขอ/คำร้อง/เอกสาร | วัน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| - ส่งเรื่องให้ กกพ. พิจารณา<br>- คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานส่งเรื่องเพื่อขอความเห็นจากกรมโรงงาน<br>- คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานพิจารณาใบอนุญาต<br>b. ในกรณีที่ยื่นคำขอที่ สกพ.<br>- ยื่นเอกสารต่อ สกพ.<br>- สกพ. ขอความเห็นประกอบการพิจารณาอนุญาตโรงงานจาก อก. และ อก. เสนอความเห็นกลับ กกพ. 60 วัน<br>- สกพ. จัดทำความเห็นเสนอต่อ กกพ. และ กกพ. มีคำวินิจฉัยพิจารณาการอนุญาตตั้งโรงงานภายใน 20 วัน นับจากได้รับความเห็นจาก อก.<br>- สกพ. แจ้งผลภายใน 10 วันนับตั้งแต่วันมีมติ | -สำนักกำกับกิจการพลังงาน | | 90 | โรงงานต่อสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดหรือกรมโรงงานอุตสาหกรรม การอนุญาตให้ระบุประเภทหรือลำดับที่ 88 ลงในใบอนุญาต และเมื่อมีการอนุญาตแล้ว ให้แจ้งคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานทราบ<br>- ในกรณีที่ต้องการขยายโรงงานและเพิ่มประเภทการผลิต ให้ยื่นเรื่องต่อสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดหรือกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อมีการอนุญาตแล้ว ให้แจ้งคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานทราบ<br>ติดต่อ ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม เลขที่ 75/6 ถ.พระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทร. 0-2202-4000 โทรสาร. 0-2245-8000 http://www.diw.go.th<br>- กรณี ต่างจังหวัด ติดต่อ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด |

| รายการ | หน่วยงานที่รับผิดชอบ | ชื่อคำขอ/คำร้อง/เอกสาร | วัน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 5. การขออนุญาตใช้พื้นที่ก่อสร้าง<br>a. กรณีขออนุญาตต่อองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น<br>- ผู้ประกอบการยื่นแบบคำขอ “อนุญาตก่อสร้าง/ดัดแปลงอาคาร”ต่อ อบต.<br>- อบต. ตรวจสอบเอกสารและออกหนังสือแจ้งการอนุมัติ<br>- อบต. อนุมัติ “อนุญาตก่อสร้าง/ดัดแปลงอาคาร” | องค์การปริหารส่วนตำบลกระทรวงหาดไทย | คำขออนุญาตก่อสร้างอาคาร (ข.1) | 45 | ติดต่อที่ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ในพื้นที่ที่จะก่อสร้างโรงงาน |
| b. กรณีพื้นที่อยู่ในการนิคมอุตสาหกรรม (กนอ.)<br>- ผู้ประกอบการยื่นแบบคำขอการขออนุญาตก่อสร้างจาก กทม. อาทิการแจ้งชื่อผู้ควบคุมงานกับวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการดำเนินการ<br>- ผู้ประกอบการขอใบรับรองการก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือเคลื่อนย้ายอาคาร<br>กทม. อนุมัติ “อนุญาตก่อสร้าง/ดัดแปลงอาคาร” | การนิคมอุตสาหกรรม | คำขอรับใบรับรองการก่อสร้างอาคาร ดัดแปลงอาคาร หรือเคลื่อนย้ายอาคาร (แบบ กทม.4) | 45 | การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย 618 ถนนนิคมมักกะสัน แขวงมักกะสัน เขตราชเทวี กรุงเทพ 10400<br>โทรศัพท์ : 0-2253-0561 โทรสาร : 0-2253-4086<br>http://www.ieat.go.th |

| รายการ | หน่วยงานที่รับผิดชอบ | ชื่อคำขอ/คำร้อง/เอกสาร | วัน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 6-7 การขอจำหน่ายไฟฟ้าและสัญญาซื้อขายไฟฟ้า<br>- ผู้ประกอบการยื่นแบบคำขอจำหน่ายไฟฟ้าและการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ณ ที่ทำการสำนักงานเขตของ กฟน.หรือที่ทำการสำนักงานจังหวัดของ กฟภ<br>- การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายพิจารณาเอกสารรับซื้อไฟฟ้าและแจ้งผล พร้อมทั้งรายละเอียดค่าใช้จ่ายเป็นลายลักษณ์อักษรภายใน 45 วัน นับจากวันที่การไฟฟ้า ฝ่ายจำหน่ายได้รับข้อมูลประกอบการพิจารณาครบถ้วน<br>- ผู้ประกอบการต้องชำระค่าใช้จ่ายและทำสัญญาและซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าภายใน 60 วัน นับตั้งวันได้รับแจ้งผล | -กฟน. กฟภ .กฟผ. | คำขอจำหน่ายไฟฟ้าและการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า | 105 | ติดต่อ กฟผ.<br>*เลขที่ 53 หมู่ 2 ถ.จรัญสนิทวงศ์ ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย นนทบุรี 11130* โทร 0-2436-0000<br>สามารถดาวน์โหลดเอกสารได้ที่<br>http://www.ppa.egat.co.th/Sppx/a4.html<br>ติดต่อ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (สำนักงานใหญ่)<br>แผนกวางแผนแหล่งผลิตไฟฟ้า<br>โทร 0-2590-9733<br>- แผนก SPP โทร 0-2590-9743<br>- แผนก VSPP โทร 0-2590-9753<br>- แผนกสัญญาซื้อขายไฟฟ้า โทร 0-2590-9763<br>สามารถดาวน์โหลดเอกสารได้ที่<br>http://www.pea.co.th/vspp/vspp.html |
| **ก่อสร้างโรงงานและติดตั้งเครื่องจักร** | | | | |
| 8 ใบอนุญาตผลิตพลังงานควบคุม<br>- ผู้ประกอบการยื่นคำขอ “ใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม” แก่ พพ.หรือ สกพ. | -กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง | คำขอรับใบอนุญาตผลิตพลังงานควบคุม (พค.1) | 60 | ขนาดตั้งแต่ 200-1000 kVA ให้ พพ.พิจารณา แต่ในกรณีที่ขนาดมากกว่า 1000 kVA สกพ. เป็นผู้ตรวจสอบและส่งให้ พพ.เป็นผู้เห็นชอบ สามารถ ดาวน์โหลดเอกสารได้ที่ |

| รายการ | หน่วยงานที่รับผิดชอบ | ชื่อคำขอ/คำร้อง/เอกสาร | วัน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| - พพ. ตรวจสอบระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน<br>- พพ. อนุมัติใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม | พลังงาน<br>-สำนักกำกับกิจการพลังงาน | | | http://www.dede.go.th<br>ติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมที่<br>กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน<br>เลขที่ 17 ถนนพระรามที่ 1 เขตปทุมวัน<br>กรุงเทพมหานคร 10330<br>Tel. 0-2223-0021-9 ต่อ 1411 |
| 9-10 ใบอนุญาตประกอบกิจการไฟฟ้า<br>- ผู้ประกอบการเตรียมเอกสารประกอบแยกประเภทตามใบอนุญาต<br>- สกพ. ตรวจสอบความถูกต้องของเอกสาร<br>- สกพ. เสนอความเห็นแก่ กกพ. พิจารณาเอกสาร<br>- กกพ. พิจารณาออกใบอนุญาต “ใบประกอบกิจการไฟฟ้า”<br>- สกพ. แจ้งชำระค่าธรรมเนียมพร้อมออกใบอนุญาตแก่ผู้ประกอบการ | -สำนักกำกับกิจการพลังงาน | ใบอนุญาตประกอบกิจการไฟฟ้า ประกอบด้วย<br>1. ใบอนุญาตผลิตไฟฟ้า (สกพ01-1)<br>2. ใบอนุญาตระบบส่งไฟฟ้า (สกพ01-2)<br>3. ใบอนุญาตระบบจำหน่ายไฟฟ้า (สกพ01-3)<br>4. ใบอนุญาตจำหน่ายไฟฟ้า (สกพ01-4)<br>5. ใบอนุญาตควบคุมระบบไฟฟ้า (สกพ01-5) | 75 | ติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมที่<br>*319 อาคารจัตุรัสจามจุรี ชั้น 19 ถนนพญาไท แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330*<br>*โทรศัพท์ : 0 2207 3599 ,*<br>*โทรสาร : 0 2207 3502 , 0 2207 3508*<br>สามารถ ดาวน์โหลดเอกสารได้ที่<br>http://www2.erc.or.th/Form1.html |

| รายการ | หน่วยงานที่รับผิดชอบ | ชื่อคำขอ/คำร้อง/เอกสาร | วัน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 11-12 การไฟฟ้าตรวจสอบระบบพร้อมออกผลการรับรองการตรวจคุณภาพไฟฟ้า<br>เมื่อทำสัญญาและติดตั้งระบบแล้วเสร็จให้ผู้ผลิตไฟฟ้าแจ้งความประสงค์จะจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ การไฟฟ้าจะเข้าไปตรวจสอบภายใน 15 วัน<br>- การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะตรวจสอบการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่ติดตั้งว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดให้แล้วเสร็จภายใน 15 วันยกเว้นกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้าเป็นผู้ใช้ไฟรายใหม่ให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายดำเนินการตามระเบียบปฏิบัติของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายภายใน 30 วัน<br>- การไฟฟ้าแจ้งวันเริ่มรับซื้อไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ (COD) | - | | 45 | - |
| 13-14 รับเงินค่าขายกระแสไฟฟ้า | | | | - |
| หมายเหตุ : โครงการที่กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกำหนดต้องจัดทำรายงานผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (EIA,IEE) | -สำนักนโยบายและแผนฯกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม | รายงานการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | 180 - 365 | (กรณีที่สร้างโรงไฟฟ้าความร้อนมีขนาดเกิน 10 MW) |

หมายเหตุ : ระยะเวลาไม่รวมขั้นตอนการรับฟังความคิดเห็นจากประชาชน และจะนับตั้งแต่ได้รับเอกสารครบถ้วน

## การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EIA)

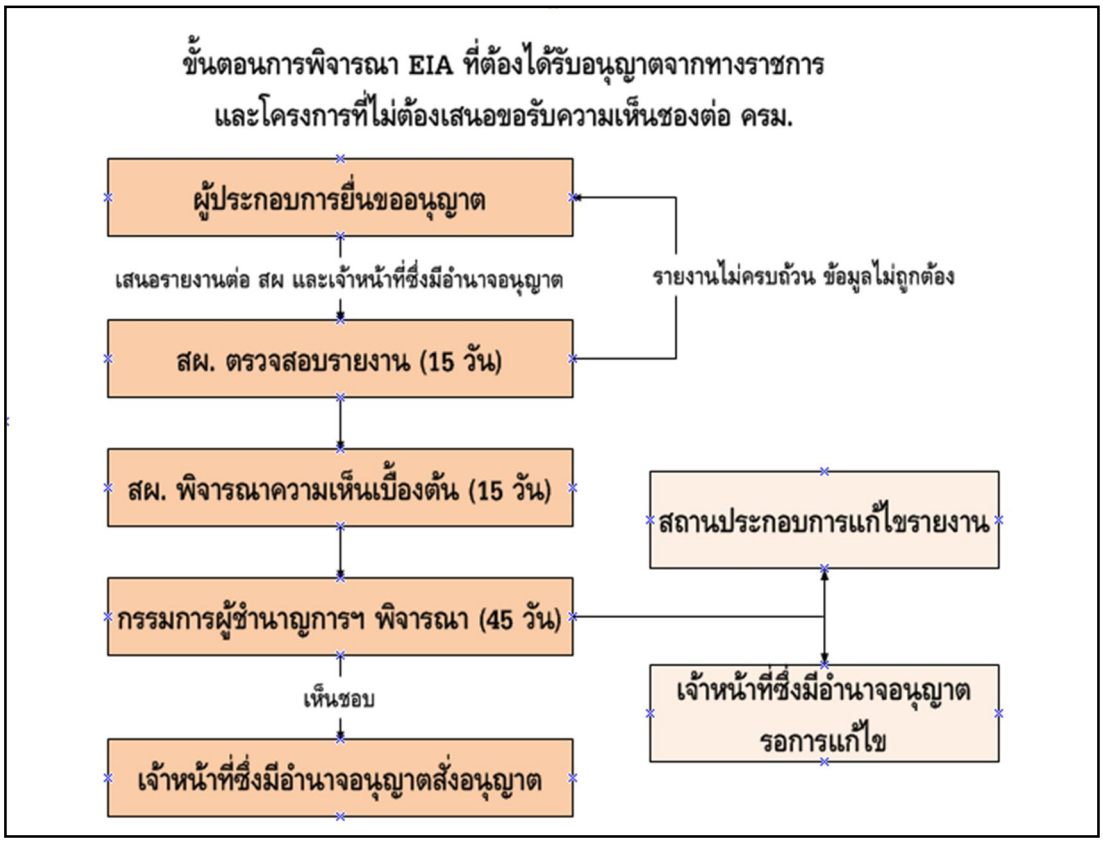
EIA หรือ Environmental Impact Assessment เป็นการศึกษาเพื่อคาดการณ์ผลกระทบทั้งในทางบวกและทางลบจากการพัฒนาโครงการหรือกิจการที่สำคัญ เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมและใช้ในการประกอบการตัดสินใจพัฒนาโครงการหรือกิจการ ผลการศึกษาจัดทำเป็นเอกสาร เรียกว่า "รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม" ซึ่งการดำเนินโครงการด้านโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีขนาดผลิตไฟฟ้ามากกว่า 10 MW จะต้องจัดทำรายงานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

### ขั้นตอนการทำรายงาน EIA

1. ผู้ประกอบการจะต้องทราบก่อนว่าโครงการนั้นจะต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือไม่

2. ว่าจ้างที่ปรึกษาที่ขึ้นทะเบียนเป็นนิติบุคคลผู้มีสิทธิทำรายงานฯ

3. ผู้ประกอบการส่งรายงานให้สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) โดย สผ. และคณะกรรมการผู้ชำนาญการจะใช้เวลาการพิจารณารายงานฯ ตามขั้นตอนที่กำหนดไม่เกิน 75 วัน แต่หากคณะกรรมการฯ มีข้อเสนอแนะให้แก้ไขเพิ่มเติม ที่ปรึกษาจะต้องใช้เวลาในการปรับแก้ และจัดส่งให้ สผ. และคณะกรรมการฯ พิจารณา ซึ่งจะใช้เวลาไม่เกิน 30 วัน



# เอกสารอ้างอิง


1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการติดตามและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน พฤศจิกายน 2551
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน พฤษภาคม 2548
3. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมษายน 2552 สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย 2551
4. บัญชิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ รายงานฉบับสมบูรณ์การประเมินเทคโนโลยีของขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน โครงการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในประเทศไทย ธันวาคม 2549
5. เชาวน์ นกอยู่ เอกสารประกอบการบรรยาย หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีในการจัดการขยะมูลฝอย สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ
6. เชาวน์ นกอยู่ นกอยู่ การพัฒนาโครงการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน กรมควบคุมมลพิษ
7. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน เว็บไซต์ www.boi.go.th
8. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เว็บไซต์ www.tgo.or.th
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน www.dede.go.th
10. มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม(มพส.) www.efe.or.th

# บันทึก

ผู้สนใจสามารถขอข้อมูลและรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

ศูนย์บริการวิชาการด้านพลังงานทดแทนโทรศัพท์ : 0-2223-7474

หรือ

กลุ่มพลังงานขยะ สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

17 ถนนพระราม 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ : 0-2223-0021-9

เว็บไซต์ www.dede.go.th

จัดทำเอกสาร โดย

able

บริษัท เอเบิล คอนซัลแตนท์ จำกัด

888/29-32 ถนนนวลจันทร์ แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230

โทรศัพท์ 0-2184-2728-32 โทรสาร 0-2184-2734

พิมพ์ครั้งที่ 1 : กันยายน 2554