รายงานการวิจัย

เรื่อง

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

Feasibility Study of Municipal Solid Wastes for Electricity Generation

โดย

มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา

พฤษภาคม 2550

ลิขสิทธิ์ของสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา

ISBN 978-974-8038-73-5

รายงานการวิจัย

เรื่อง

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

โดย

คณะผู้วิจัย		สังกัด
1. นายพิรียุตม์	วรรณพฤกษ์	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน
2. นายสมเกียรติ	คุณเผือก	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน
3. นางสาวอาริศรา	ทะริยะ	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา

พฤษภาคม 2550

ลิขสิทธิ์ของสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา

ISBN 978-974-8038-73-5

Research Report

Title

Feasibility Study of Municipal Solid Wastes for Electricity Generation

By

Authers	Institute
1. Mr. Pireeyutma Vanapruk	Development of Environment and Energy Foundation
2. Mr. Somkiet Khunpuak	Development of Environment and Energy Foundation
3. Ms. Arissara Tariya	Development of Environment and Energy Foundation

Supported by The Secretariat of the Senate

May 2007

Copyright by The Secretariat of the Senate

ISBN 978-974-8038-73-5

บทคัดย่อ

ชื่อรายงานการวิจัย : โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
ชื่อผู้วิจัย : มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน
เดือน ปีที่ทำวิจัย : พฤษภาคม 2550

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ความเหมาะสมของเทคโนโลยี และความเป็นไปได้ในการลงทุนโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยขยะชุมชน คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากผลการศึกษาที่ผ่านมาของหน่วยงานภาครัฐและสถาบันการศึกษา การทบทวนข้อมูลด้านเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนทั้งที่มีการใช้งานในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งการศึกษาประสบการณ์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศไทย

ผลจากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่า ปัจจุบันรัฐได้กำหนดทิศทางและนโยบายในการสนับสนุนให้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน และล่าสุดกระทรวงพลังงานได้สนับสนุนการรับซื้อกระแสไฟฟ้าโดยกำหนดส่วนเพิ่มของราคารับซื้อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนในอัตราที่สูงกว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ ส่งผลให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะชุมชน 50 ตัน/วันขึ้นไป มีความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพมี 64 แห่ง มีศักยภาพรวมในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 175 MW ทั้งนี้ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นกับการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด การจัดเก็บขยะชุมชนแยกประเภทและการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อใช้ประโยชน์จากขยะชุมชนประเภทต่างๆ ให้มากที่สุด โดยที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องปรับปรุงระบบการเก็บขนให้สอดคล้องกับการคัดแยกจากแหล่งกำเนิด สำหรับเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมแบ่งตามประเภทขยะชุมชน จากการทบทวนวรรณกรรม ประสบการณ์ในการปฏิบัติจริง และพิจารณาจากปัจจัยความสามารถในการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เทคโนโลยีเตาเผาแบบตะกรับเพื่อใช้กับกับขยะที่เผาไหม้ได้ง่ายและมีความชื้นน้อย และเทคโนโลยีการการย่อยสลายแบบไม่ใช่ออกซิเจนที่ควรใช้เฉพาะกับขยะอินทรีย์

ในด้านการบริหารจัดการ การศึกษาวิจัยนี้ได้เสนอให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสนับสนุนให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเพื่อลดภาระที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องจัดหาบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ซึ่งอาจเปิดโอกาสให้เอกชนเข้าการบริหารจัดการหรือบริหารจัดการร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดย

เลือกรูปแบบการดำเนินการที่เหมาะสมกับลักษณะของงานและความต้องการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทั้งนี้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะทำหน้าที่ในการกำกับดูแลการดำเนินงานของเอกชนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์โดยการใช้เครื่องมือในการกำกับดูแล ได้แก่ สัญญา และการบริหารสัญญา

การศึกษาวิจัยนี้ยังได้นำเสนอความเห็นด้านเทคโนโลยีที่นอกเหนือจากระบบเตาเผาแบบตะกรับและระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนแล้ว รัฐควรพัฒนาโครงการนำร่องสำหรับการใช้เทคโนโลยีแบบก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่จะรับโครงการนำร่องจะต้องมีระบบคัดแยกและจัดเก็บขยะแยกประเภท ส่วนกรณีของเทคโนโลยีอื่นๆ รัฐควรมอบหมายให้หน่วยงานส่วนกลางทำงานวิจัย ค้นคว้าและติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีก่อนที่จะนำไปใช้ในท้องถิ่น

Abstract

Research Title : Feasibility Study of Municipal Solid Wastes for Electricity Generation

Author : The Development of Environment and Energy Foundation (DEE)

Month Year : May 2007

The purposes of the Feasibility Study of Municipal Solid Wastes (MSW) for Electricity Generation are to study the potential in utilizing MSW with appropriate technologies and feasible investment to produce electricity and how local authorities in Thailand could develop the project. The relevant data and research studies regarding MSW to energy technology in Thailand and aboard together with their lessons learned have be reviewed.

The study shows that the current national policy on energy trends to support wastes to energy as one of the renewable energy strategy and as an option for MSW management. Under the renewable energy promotion of Ministry of Energy, Provincial Electricity Authority (PEA) has published notification on February 1 2007, about additional buying price for electricity generated from MSW 2.50 Baht per kWh from normal buying rate of 2.00 Baht per kWh. Thereby, financial and economic analysis, shows that it is possible for local authority to develop the project producing electricity from MSW with the feasible economic size starting from 50 ton/day provided that such MSW has to be separated at sources. The most feasible model is combination of technologies comprising with thermal conversion process and bio-chemical process for high heat value portion and heavy moist organic portion, respectively. There are 64 potential local authorities that expected to produce electricity 175 MW from MSW. The study also emphasizes the necessity of improvement of waste collection after convincing public in waste separation campaign.

In management prospect, the proper direction for wastes to energy project is to contract skilled private management as to reduce financial burden for facility investment of local authority and central government. In addition, private sector can also provide expertise suitable for particular work. Nevertheless, local authority has to alternate their role from being utility operator

to supervisor and controller as to assure the service performance of private sector to satisfy public.

Besides, moving grate incinerator and anaerobic digestion technologies, this study also suggests to generated electricity from others alternative technologies. For gasification, it is suggested to conduct pilot project in potential local authority provide that source separation program and improvement of collection system must be already implemented. For other technologies, central government must assign the central research or academic institutes to conduct the research and continuously follow the technologies progress.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับคำแนะนำ และข้อคิดอันเป็นประโยชน์จากคณะกรรมการวิจัยและพัฒนาของวุฒิสภาทุกท่าน ตลอดจนความช่วยเหลือและการประสานงานอย่างดียิ่งจากข้าราชการ และเจ้าหน้าที่สำนักวิชาการ กลุ่มงานวิจัยและข้อมูล ซึ่งช่วยให้รายงานการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนสนับสนุนทั้งหน่วยงานภาครัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเอกชนผู้ประกอบการ ที่ได้ให้ความร่วมมือ ช่วยเหลือและอนุเคราะห์ข้อมูล รวมถึงอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ในระหว่างการศึกษาข้อมูล จนการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ได้แก่

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต
- เทศบาลนครระยอง จังหวัดระยอง
- สำนักงานพื้นที่พิเศษหมู่เกาะช้างและพื้นที่เชื่อมโยง 1 (สพพ. 1) องค์การบริหารการพัฒนาพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน
- ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไพโรจน์สมพงษ์

มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (1)

Abstract (2)

กิตติกรรมประกาศ (3)

สารบัญ (4)

สารบัญตาราง (7)

สารบัญภาพ (12)

สัญลักษณ์และคำย่อ (17)

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 สภาพปัจจุบันของปัญหา 2

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.5 นิยามศัพท์ 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศึกษานโยบายและสถานการณ์ด้านการจัดการขยะชุมชนและพลังงานทดแทน 7

2.2 นโยบายด้านการจัดการขยะชุมชน 7

2.1.1 นโยบายด้านการจัดการขยะชุมชน 7

2.1.2 สถานการณ์การจัดการขยะชุมชน 12

2.1.3 นโยบายและสถานการณ์ด้านพลังงานทดแทน 19

2.2 ศึกษาทบทวนเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในต่างประเทศ 27

2.2.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) 30

2.2.2 เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas) 80

2.2.3 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incineration) 103

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (Municipal solid waste Gasification) 124
2.2.5 เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) 136
2.2.6 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel) 149
2.3 ศึกษาทบทวนเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศ 160
2.3.1 โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง 160
2.3.2 โครงการกำจัดขยะชุมชนโดยการใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ เกาะช้าง 173
2.3.3 โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะชุมชน แบบถูกหลักสุขาภิบาล ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 177
2.3.4 โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยราชาเทวะ 188
2.3.5 โครงการเตาเผาและผลิตพลังงาน เทศบาลนครภูเก็ต 196
2.4 ศึกษาทบทวนการศึกษาศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชุมชน 202
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 209
3.1 การกำหนดพื้นที่และการเก็บรวบรวมข้อมูล 209
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 210
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 212
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย 214
4.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 214
4.1.1 กระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process) 215
4.1.2 กระบวนการทางชีวเคมี (Bio-Chemical Process) 220
4.1.3 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Conversion Process) 222
4.2 กระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 223
4.3 ความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 226
4.3.1 เกณฑ์และมาตรฐาน 226
4.3.2 ผลกระทบจากขยะชุมชน 226

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก 227
4.3.4 ผลประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม 229
4.4 ความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 230
4.4.1 ขนาดของโครงการ 232
4.4.2 ผลจากนโยบายสนับสนุนของรัฐ 242
4.5 แบบจำลองการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 246
4.5.1 ความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 246
4.5.2 ระบบเทคโนโลยีที่เหมาะสม 252
4.5.3 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน 255
4.6 การมีส่วนร่วมของภาคเอกชน 259
4.6.2 เอกชน คือใคร 260
4.6.2 ปัจจัยที่ทำให้ภาคเอกชนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ 261
4.6.3 รูปแบบการมีส่วนร่วมหรือประเภทสัญญา 262
4.6.4 การเลือกรูปแบบของสัญญาที่เหมาะสม 264
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 266
5.1 บทสรุปผลการวิจัย 266
5.1.1 นโยบายและมาตรการส่งเสริมของภาครัฐ 262
5.1.2 ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 267
5.1.3 เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 267
5.1.4 รูปแบบการบริหารจัดการที่เหมาะสม 268
5.2 ข้อเสนอแนะ 269
5.2.1 ปัจจัยสำคัญในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 269
5.2.2 การตรวจสอบความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ก่อนตัดสินใจพัฒนาโครงการ 270
5.2.3 การลงทุนในโครงการ 271
5.2.4 ความสัมพันธ์ของนโยบายด้านการจัดการขยะชุมชน และนโยบายสนับสนุนพลังงานทดแทน 272

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 273
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทย 276
ภาคผนวก ข องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทย 282
ภาคผนวก ค ตัวอย่างแบบสอบถามและข้อมูลการสำรวจจากแบบสอบถาม 288
ภาคผนวก ง ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่อง การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน 327
ภาคผนวก จ รายละเอียดการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน 331
ภาคผนวก ฉ รายชื่อคณะกรรมการวิจัยและพัฒนาของวุฒิสภา 343
ประวัติผู้วิจัย 345

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สรุปปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นในปี 2548 13

2.2 องค์ประกอบขยะชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทย 13

2.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีขยะชุมชนที่สุ่มจากสถานที่กำจัด ขยะชุมชนตัวอย่าง 15

2.4 แสดงค่าความร้อน (Cal/g) กับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของขยะชุมชน 16

2.5 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ขนาดเล็กมาก (VSPP), กันยายน 2549 26

2.5 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ขนาดเล็ก (SPP), กันยายน 2549 26

2.7 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Dry และ Wet Digestion Process 44

2.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Mesophilic Process และ Thermophilic Process 44

2.9 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ซึ่งยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน 50

2.10 ตัวอย่างการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในการบำบัดขยะอินทรีย์ (ปี 2549) 52

2.11 รายละเอียดของระบบ DRANCO Process 56

2.12 รายละเอียดของระบบ WABIO Process 59

2.13 รายละเอียดของระบบ ArrowBio Process 63

2.14 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของก๊าซชีวภาพ (Biogas utilization) 65

2.15 ตัวอย่างข้อกำหนดคุณภาพก๊าซชีวภาพและการปรับปรุง คุณภาพก่อนนำไปใช้ประโยชน์ 67

2.16 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ 67

2.17 ตัวอย่างการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารมลพิษตกค้างยาวนาน ในสารปรับปรุงคุณภาพดิน ของประเทศเดนมาร์ก 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

2.18 ตัวอย่างการกำหนดค่ามาตรฐาน ของปริมาณโลหะหนักในสารปรับปรุง คุณภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับใช้เพื่อการเพาะปลูกของประเทศต่างๆ 74
2.19 สรุปข้อเด่น-ข้อด้อยของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 78
2.20 การคาดการณ์ปริมาณก๊าซจากหลุมฝังกลบ 85
2.21 สรุปการประเมินความเหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล 90
2.22 การประมาณราคาลงทุนและค่าดำเนินงานระบบระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบ 97
2.23 การประมาณต้นทุนลงทุนและค่าดำเนินงานระบบผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบ 98
2.24 สรุปข้อเด่น-ข้อด้อยของการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล 99
2.25 โครงการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนในปัจจุบัน 100
2.26 ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบตระกรับ 107
2.27 ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบหมุน 108
2.28 ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบหมุนฟลูอิดไดซ์เบด 110
2.29 สรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการผลิตพลังงานในรูปแบบต่างๆ 111
2.30 การผลิตพลังงานจากการเผาไหม้ขยะชุมชนในประเทศต่างๆ แถบยุโรป 115
2.31 จำนวนโรงเผาขยะชุมชนและอัตราการเผาทำลายในสหรัฐอเมริกา 116
2.32 จำนวนเตาเผาขยะชุมชนอัตราการกำจัด และการผลิตพลังงานในสหภาพยุโรป 121
2.33 Gasification Reactor Types 127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

2.34 ลักษณะที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบต่างๆ 130
2.35 คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ 131
2.36 Fuel gas contaminants, problems and cleanup processes 132
2.37 สัดส่วนการใช้เทคโนโลยี Gasification เปรียบเทียบกับเตาเผาแบบ Fluidized bed และเตาเผาแบบตะกรับ 133
2.38 ตัวอย่างการใช้ Gasification แบบ TwinRec ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 134
2.39 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี Gasification 135
2.40 การใช้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คในการกำจัดขยะมูลฝอยในต่างประเทศ 142
2.41 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี PACT 145
2.42 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี PLASCON 147
2.43 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี STARTECH Plasma-electric Waste Converter 148
2.44 สรุปคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้ 150
2.45 อัตราการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ 157
2.46 ประเทศที่ได้มีการศึกษาและพัฒนาการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะมาอย่างต่อเนื่อง 158
2.47 องค์ประกอบของขยะ และ เชื้อเพลิงขยะ 159
2.48 ค่าเฉลี่ยของผลการดำเนินงานที่ผ่านมาเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบ 168
2.49 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก 169
2.50 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่บรรยากาศ 170
2.51 รายละเอียดการลงทุน ค่าใช้จ่ายดำเนินงานและรายได้จากโรงงาน 171
2.52 คาดการณ์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชนเกาะช้าง 176
2.53 ปริมาณและคุณภาพก๊าซที่รวบรวมได้ในการทดสอบปี 2543 183

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

2.54 ผลการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพก๊าซ 184

2.55 การตรวจวัดก๊าซแหล่งฝังกลบขยะกำแพงแสน (หลุม 1-6) ระบบหลุมก๊าซเดิม 185

2.56 การตรวจวัดก๊าซแหล่งฝังกลบขยะกำแพงแสน (หลุม 7-9) ก่อสร้างเพิ่มเติม 186

2.57 สรุปผลการดำเนินการ (การประเมิน) ของสถานที่ฝังกลบขยะกำแพงแสน 187

2.58 สรุปผลการดำเนินการของสถานที่ฝังกลบขยะชุมชน ราชาเทวะ 194

2.59 สรุปการซื้อ- ขายไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าราชาเทวะ 195

2.60 สรุปผลการดำเนินงานเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต (กุมภาพันธ์ 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549) 200

2.61 สรุปผลการดำเนินงานเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต (กุมภาพันธ์ 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549) 201

2.62 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตพลังงานปริมาณขยะชุมชน มากกว่า 100 ตันต่อวัน 203

2.63 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณขยะชุมชน 50-1000 ตันต่อวัน 204

2.64 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพที่จะนำก๊าซมาผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบัน บริมาณขยะชุมชนสะสมที่ถูกฝังกลบมากกว่า 1 ล้านตันและมีขยะชุมชนเข้าระบบ มากกว่า 150 ตัน/วัน 207

2.65 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพที่จะนำก๊าซมาผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคต ที่มีขยะชุมชน เข้าระบบมากกว่า 150 ตัน/วัน 207

4.1 องค์ประกอบขยะชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ 2547) 214

4.2 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ค่าความร้อนจากองค์ประกอบของชุมชนโดยสูตรของ Dulong 216

4.3 การคาดการณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพจากพื้นที่ฝังกลบ 220

4.4 ต้นทุนดำเนินงานกำจัดขยะชุมชน 233

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.5 รายชื่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการผลิต 235
กระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเตาเผา ที่มีประมาณขยะมากกว่า 200 ตัน/วัน
4.6 รายชื่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการ 236
ผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเตาเผา ที่มีประมาณขยะมากกว่า 100 ตัน/วัน
4.7 อัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน 242
4.8 รายชื่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะชุมชน 243
รวมตั้งแต่ 100 ตัน/วัน ขึ้นไป
4.9 สรุปเทคโนโลยีทางความร้อน (Thermal Conversion Process) ที่เหมาะสม 252
และสอดคล้องกับสถานภาพการจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
4.10 สรุปเทคโนโลยีทางชีวเคมี (Biochemical Conversation Process) ที่เหมาะสม 254
และสอดคล้องกับสถานภาพการจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
4.11 รูปแบบของสัญญาจะสอดคล้องเหมาะสมกับการร่วมลงทุนและดำเนินงาน 265
ระหว่างองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเอกชน

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนปี 2554 20

2.2 ปริมาณความต้องการพลังงานขั้นสุดท้ายเปรียบเทียบก่อนและหลัง มีแผนอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 3 20

2.3 ลำดับความสำคัญในการจัดการขยะชุมชน (Solid waste management Hierarchy) 27

2.4 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการชีวเคมีของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 32

2.5 Hydro Pulper อุปกรณ์สำหรับการคัดแยกขยะแบบ Wet Separation Process 36

2.6 ตะแกรงคัดแยกขยะ แบบ Drum Screen 37

2.7 การคัดแยกขยะชุมชนโดยใช้คนคัดแยก (Hand Sorting) 37

2.8 อุปกรณ์การบดย่อยขยะอินทรีย์ 38

2.9 ตัวอย่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบ Dry Continuous Digestion Process 39

2.10 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน DRANCO Processที่เมือง Salburg ออสเตรีย 39

2.11 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน VALORGA Processในประเทศฝรั่งเศส 40

2.12 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน Paques Process ประเทศบราซิล 42

2.13 การนำ Digestate จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปใช้ในรูปของปุ๋ยน้ำ 45

2.14 สารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 46

2.15 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน WABIO Process ที่เมือง Bottrop เยอรมัน 58

2.16 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน WABIO Process ที่เมือง Forssa ฟินแลนด์ 58

2.17 แผนภาพการทำงานของ WABIO Process 60

2.18 แผนภาพสรุปการทำงานของ ArrowBio Process 64

2.19 โรงบำบัดขยะชุมชน ระบบ ArrowBio ขนาด 10 ตันต่อวัน เมือง Hadera ประเทศอิสราเอล 64

2.20 การเปรียบเทียบค่าลงทุนในการติดตั้ง Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine 69

2.21 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.22 การเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ต้องซ่อมใหญ่ของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine 70

2.23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการเปลี่ยนรูปพลังงานของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel engine 70

2.24 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้าของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel engine เมื่อเดินเครื่องที่ Part-Load 71

2.25 การเปรียบเทียบการปล่อยออกของก๊าซมลพิษของ Gas Engine Gas Turbine และ Diesel engine 71

2.26 แผนภาพการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล 81

2.27 การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method) 82

2.28 การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) 83

2.29 การฝังกลบขยะแบบบ่อหรือห้วย หรือพื้นที่ลาดเอียง (Ramp Method) 83

2.30 ระบบควบคุมก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบ Passive System 86

2.31 การติดตั้ง Header System ในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชน 87

2.32 ลักษณะการติดตั้ง Final Blower/Flare Station แบบ Enclosed Flaring System 88

2.33 ลักษณะความลาดชันของพื้นหลุมฝังกลบขยะเพื่อวางระบบรวบรวมน้ำชะขยะ 93

2.34 การวางแนวท่อรวบรวมน้ำชะขยะในพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชน 93

2.35 การปิดพื้นฝังกลบ 95

2.36 โรงเผาขยะชุมชนแบบนำความร้อนมาผลิตกระแสไฟฟ้า 104

2.37 ระบบเตาเผาแบบ Moving Grate 106

2.38 ระบบเตาเผาแบบหมุนที่ติดตั้งใช้งานจริง 108

2.39 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด 109

2.40 วงจรหม้อน้ำร้อน 112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.41 หม้อไอน้ำความดันสูง 112

2.42 วัฏจักร Ranking สำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง 113

2.43 แผนภูมิแสดงภาพรวมการผลิตพลังงานจากการเผาขยะชุมชน 114

2.44 เตาเผาแบบ Mass burn ที่ Brassy 117

2.45 โรงงานเตาเผาขยะชุมชนของเมือง Yokohama ณ Kanazawa 118

2.46 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบเตาเผา ณ โรงงาน Kanazawa 118

2.47 โรงงานเตาเผาเทศบาลเมือง Mishima 119

2.48 แผนผังแสดงการทำงานของระบบเตาเผาเทศบาลเมือง Mishima 120

2.49 ระบบเตาเผาแบบตะกรับที่ใช้กับเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน 122

2.50 ต้นทุนในการเผาขยะชุมชน (หน่วยเป็น ยูโรต่อตัน) 123

2.51 Fixed-Bed Gasifier Types 127

2.52 Principles of Single and Circulating Fluid Bed Gasifiers 128

2.53 ส่วนประกอบที่สำคัญของ TwinRec - Gasification ซึ่งทำงานแบบ Fluidized Bed และระบบการหลอมขี้เถ้า (Ash Melting system) 134

2.54 รูปแบบของ Plasma torch โดยการใช้ Transferred Torch และ Non-transferred Torch 137

2.55 ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแบบ In-Situ Plasma Torch Reactor 138

2.56 แผนภูมิสมดุลพลังงานที่ใช้ในระบบพลาสมาอาร์ค 139

2.57 ระบบพลาสมาอาร์ค ขนาด 200 ตัน/วัน เมือง Utashimai ประเทศญี่ปุ่น 143

2.58 แผนภาพระบบพลาสมาอาร์คแบบ WPC เมือง Utashimai ประเทศญี่ปุ่น 143

2.59 โรงงานสาธิตเมือง Ottawa ประเทศแคนนาดา 144

2.60 กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิง 151

2.61 ลักษณะของเชื้อเพลิงขยะ 151

2.62 ขั้นตอนในการแปรรูปขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงขยะ 152

2.63 ลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง 154

2.64 โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง 161

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.65 กิจกรรมการมีส่วนร่วมต่าง ๆ ที่จัดทำขึ้นในเขตเทศบาลนครระยอง 162
2.66 แผนภูมิแสดงกระบวนการต่าง ๆ ของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน 162
2.67 ปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบและปริมาณขยะที่ผลิตขึ้นต่อวันปี 2544 – 2548 166
2.68 การเยี่ยมชมและตรวจสอบระบบโดย COGEN 3 169
2.69 เครื่องบดย่อยขยะอินทรีย์แบบเดิม และแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้น 172
2.70 รายได้จากการขายกระแสไฟฟ้ากับปริมาณขยะอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น 173
2.71 องค์ประกอบของโรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชน 174
2.72 แผนผังแสดงกระบวนการทำงานในโรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชน 175
2.73 การผลิตกระแสไฟฟ้า สถานที่ฝังกลบกำแพงแสน 178
2.74 หลุมดูดก๊าซแนวดิ่ง (Vertical Wells) 180
2.75 หลุมดูดก๊าซในแนวนอน (Horizontal Wells) 181
2.76 การจัดวางระบบรวบรวมก๊าซในการดำเนินโครงการระยะที่ 2 181
2.77 แผนผังพื้นที่และระบบรวบรวมก๊าซในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชน กำแพงแสน 184
2.78 การจัดการขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้า สถานที่ฝังกลบราชาเทวะ 188
2.79 แผนที่ตั้งโครงการ 189
2.80 การปูแผ่น HDPE ด้านล่าง-ด้านข้าง และเดินท่อรวบรวมน้ำชะขยะ 190
2.81 ก่อสร้างบ่อรวบรวมน้ำเสีย 191
2.82 การผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซจากบ่อฝังกลบเป็นเชื้อเพลิง 193
2.83 การเผาก๊าซมีเทนทิ้ง 193
2.84 ระบบการจัดการขยะชุมชนของเทศบาลนครภูเก็ต และสมดุลมวล 197
2.85 ระบบโรงเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต 198
4.1 เตาเผาขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต ขนาดรองรับปริมาณขยะ 250 ตัน/วัน ออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 2.5 MW 216
4.2 ค่าความร้อนที่ลดลงเนื่องจากสัดส่วนของขยะอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น 217
4.3 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต 217
4.4 ถังรองรับขยะที่ไม่เหมาะสม และที่เหมาะสมสำหรับระบบกำจัดแบบเตาเผา 218
4.5 สมดุลมวลของการกำจัดขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต 219

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.6 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทศบาลนครระยอง รองรับขยะอินทรีย์ 222
ได้ 60 ตัน/วัน ออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 0.625 MW
4.7 สถิติการกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีฝังกลบของท้องถิ่นทั่วประเทศ 224
4.8 การคัดแยกและจัดเก็บขยะชุมชนแบบแยกประเภท ช่วยให้การผลิตกระแสไฟฟ้า 225
จากขยะชุมชนมีความเป็นไปได้
4.9 สัดส่วนของคาร์บอนในขยะชุมชน (Carbon Content of MSW) 228
4.10 เปรียบเทียบอัตรการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยพลังงาน 228
จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ กับขยะชุมชนที่มีค่าความร้อน 1,633 Kcal/kg
4.11 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยพลังงาน 229
จากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ กับขยะชุมชนที่มีค่าความร้อน 2,000 Kcal/kg
4.12 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิลดลงเท่ากับ 517-468-2,300=2,251 กิโลกรัม 229
4.13 อัตราผลตอบแทนของโครงการขนาดต่างๆ เมื่อค่าธรรมเนียมกำจัด = 385 บาท/ตัน234
และอัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า = 2.00 บาท/หน่วย
4.14 อัตราผลตอบแทนของโครงการขนาดต่างๆ เมื่ออัตราจำหน่ายกระแส 234
ไฟฟ้า = 2.00 บาท/หน่วย และค่าธรรมเนียมกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น 575 บาท/ตัน
4.15 อัตราผลตอบแทนของโครงการขนาดต่างๆเมื่ออัตราจำหน่ายกระแส 236
ไฟฟ้า = 2.00 บาท/หน่วยและค่าธรรมเนียมกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น 650 บาท/ตัน
4.16 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลตอบแทน (IRR) 237
ของโครงการกับค่าความร้อนของขยะชุมชน
4.17 เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนของระบบก๊าซเชื้อเพลิงและเตาเผา เมื่อราคา 239
จำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาท/หน่วยและค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ
650 บาท/ตัน
4.18 อัตราผลตอบแทนของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อค่าธรรมเนียม 241
กำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 385 บาท/ตัน ราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาท/หน่วย
และราคาจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 1,000 บาท/ตัน
4.19 โครงการที่มีขนาดของระบบรองรับขยะอินทรีย์ 200 ตัน/วันมีความเป็นไปได้ 241
เมื่อค่าธรรมเนียมกำจัดขยะเพิ่มขึ้นเป็น 775 บาท/ตัน

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.20 อัตราส่วนเพิ่ม (Adder) ของราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า 2.50 บาท/หน่วย ทำให้อปท. ขนาดเล็กที่มีขยะชุมชนตั้งแต่ 50 ตัน/วันขึ้นไปมีโอกาสพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบเตาเผา 244

4.21 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีความเป็นไปได้ตั้งแต่ขนาด 50 ตัน/วันเมื่อได้รับการสนับสนุนด้วยอัตราส่วนเพิ่ม (Adder) ของราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า 2.50 บาท 244

4.22 อัตราส่วนเพิ่ม (adder) ช่วยให้การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความเป็นไปได้เมื่อขนาดของโครงการสามารถรองรับขยะอินทรีย์ได้ 100 ตัน/วัน โดยมีรายได้จากการจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 บาท/ตัน และค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 385 บาท/ตัน 245

4.23 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความเป็นไปได้ เมื่อมีขนาดสามารถรองรับขยะอินทรีย์ 50 ตัน/วันขึ้นไป มีรายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน 385 บาท/ตัน ราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาท/หน่วย และส่วนเพิ่มของราคาจำหน่ายอีก 2.50 บาท/หน่วย และราคาจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 2,000 บาท/ตัน 246

4.24 แผนผังเพื่อตรวจสอบความพร้อมของอปท. ก่อนที่จะเริ่มพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 248

4.25 การคัดแยกขยะชุมชนจากต้นทางและระบบจัดเก็บแยกประเภทเป็นปัจจัยพื้นฐานของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน 249

4.26 เป็นไปได้หรือไม่ที่ท้องถิ่นมีการดำเนินการหลุมฝังกลบเช่นนี้จะสามารถบริหารจัดการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต 250

4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของโครงการกับอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) กรณีที่ไม่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดและใช้ระบบเตาเผากำจัดขยะชุมชน และผลผลิตกระแสไฟฟ้า 257

4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของโครงการกับอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) กรณีที่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดและใช้ระบบเตาเผากำจัดขยะชุมชน และผลผลิตกระแสไฟฟ้า 259

สัญลักษณ์และคำย่อ

กฟน.	การไฟฟ้านครหลวง
กฟภ.	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
กฟผ.	การไฟฟ้าฝ่ายผลิต
กพช.	คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ
พพ.	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
สนพ.	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
อบจ.	องค์การบริหารส่วนจังหวัด
อปท.	องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
อพท.	องค์การบริหารการพัฒนาพื้นที่พิเศษ

AFP	Area-Function-Participation
AD	Anaerobic Digestion
BVS	Biodegradable volatile solids
Cal/g	Calory/kilogram
CCCT	Combined Cycle Combustion Turbine
CHP	Combine Heat and Power
EPA	Environmental Protection Agency
GHG	Green House Gas
GMRT	Minimum Guaranteed Retention Time
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH
GWP	Global Warming Potential
HRT	Hydraulic Retention Time
IEA	International Energy Agency
KWhr	kilowatt per hour
Kcal/kg	kilo callory per kilogram
ktoe	kilo-ton oil equivalent
LFG	Landfill Gas
MW	megawatt

สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

NASA	National Aeronautics and Space Administration
NFFO	Non-Fossil Fuel Obligation
OLR	Organic Loading Rate
OWS	Organic Waste System N.V.
PACT	Plasma Arc Centrifugal Treatment
PLASCON	In-flight Plasma Arc System
PWC	STARTECH Plasma-electric Waste Converter ()
RDF	Refuse Derived Fuel
RPS	Renewable Portfolio Standard
RVS	Refractory volatile solids
SDF	Solid derived fuel
SPP	Small Power Producer
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TS	Total Solid
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
US.EPA	United States Environmental Protection Agency
VOA	Volatile Organic Acid
VOC's	Volatile Organic Compounds
VS	Volatile Solid
VSPP	Very Small Power Producer

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

สืบเนื่องจากการขยายตัวทางเศรฐกิจส่งผลให้ความต้องการด้านพลังงานภายในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้รัฐจะต้องจัดหาพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ จึงจำเป็นจะต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศมากถึงร้อยละ 62 ดังนั้น ในสภาวะที่ราคาน้ำมันปรับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ต้นทุนด้านพลังงานนำเข้ากลายเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ด้วยเหตุนี้รัฐจึงเร่งหาแหล่งพลังงานภายในประเทศเพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ รวมถึงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อลดความต้องการใช้พลังงาน

พลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่รัฐให้ความสนใจและสนับสนุนทั้งด้านงานวิจัยและการนำร่องผลิต พลังงานทดแทนที่มักกล่าวถึงได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวลที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เศษไม้ เศษยางพารา และอื่นๆ เชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถทดแทนการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทถ่านหินและน้ำมันดิบได้ส่วนหนึ่ง นอกจากนั้นรัฐยังได้ให้ความสำคัญของการใช้ขยะชุมชนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการกำหนดนโยบายสนับสนุนหลายด้าน โดยคาดว่านอกจากจะได้รับผลในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว จะสามารถลดปัญหาที่เกิดจากผลกระทบจากการจัดการขยะชุมชน เช่น การทิ้งและกำจัดขยะชุมชนที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลด้วย อีกทั้งยังคาดหวังว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนนี้จะช่วยสร้างรายได้จากการจัดการขยะชุมชนได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งแต่เดิมในการจัดการขยะชุมชนหมายถึงค่าใช้จ่ายด้านเดียว

แต่เนื่องจากขยะชุมชนแตกต่างจากเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นๆ โดยมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนทั้งในส่วนที่มีความชื้นสูง เช่น สารอินทรีย์ประเภทเศษอาหาร และส่วนที่มีค่าความร้อนมาก เช่น พลาสติก โฟม กระดาษ ทำให้การนำขยะชุมชนมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องมีกระบวนการเพื่อปรับคุณภาพให้เหมาะสมกับวิธีการ เช่น การใช้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับส่วนที่เป็นเศษอาหารหรือสารอินทรีย์ที่มีความชื้นสูง หรือการใช้วิธีเผาที่เหมาะสำหรับขยะชุมชนส่วนที่มีค่าความร้อนมาก แต่การที่ทั้งองค์ประกอบหลักทั้งสองส่วนปะปนกันทำให้การนำขยะชุมชนมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจึงยังคงเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก มีต้นทุนสูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก ดังนั้นแม้ว่าขยะชุมชนจะมีศักยภาพที่จะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ

แต่การนำมาใช้ต้องมีกระบวนการจัดการ วิธีหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสม การมีส่วนร่วมของประชาชน และมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์สำคัญของงานวิจัยนี้

1.2 สภาพของปัญหาในปัจจุบัน

ในปี 2548 ขยะชุมชนเกิดขึ้นทั่วประเทศมีปริมาณประมาณ 14.6 ล้านตัน[1] และยังคงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในปีต่อๆ ไป ทำให้หลายฝ่ายต่างวิตกกังวลถึงสถานการณ์ปริมาณขยะชุมชนที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ประกอบกับปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีปัญหาด้านการจัดการขยะชุมชนโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งมีภาระหน้าที่โดยตรงในการจัดการขยะชุมชนยังไม่สามารถกำจัดขยะชุมชนได้อย่างถูกหลักวิชาการ เนื่องมาจากการขาดความพร้อมทางด้านงบประมาณ บุคลากร เครื่องมือ การบริหารจัดการและปัญหาสถานที่กำจัดขยะชุมชน

เพื่อแก้ไขสภาวะปัญหาดังกล่าว รัฐได้กำหนดนโยบายด้านการจัดการขยะชุมชน มุ่งเน้นกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด การนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดเพื่อลดปริมาณขยะชุมชนที่ต้องนำไปกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด และการเลือกใช้วิธีการกำจัดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตของประชาชน

นอกจากนั้น กระทรวงพลังงานยังได้กำหนดนโยบายสนับสนุนการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตพลังงานที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ โดยได้กำหนดเป้าหมายที่จะติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน ประมาณ 100 MW ภายในปี 2554[2]

แม้ว่ารัฐมีนโยบายสนับสนุนให้มีการจัดการขยะชุมชนที่ถูกต้องตามหลักวิชาการรวมถึงสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีเพื่อใช้ขยะชุมชนผลิตกระแสไฟฟ้า แต่โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนยังไม่ประสบความสำเร็จตามที่กำหนดเป็นเป้าหมายไว้ ปัจจุบันมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยทั่วทั้งประเทศไม่เกิน 3 MW หรือน้อยกว่าร้อยละ 3 ของเป้าหมายสำหรับปี 2554

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในปัจจุบันได้แก่ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศของเทศบาลนครระยอง เตาเผาขยะชุมชนของเทศบาลนครภูเก็ต และการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบในพื้นที่ฝังกลบ ราชาเทวะ จังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น โครงการเหล่านี้ประสบความสำเร็จในการผลิตกระแสไฟฟ้าระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีปัญหาไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากหลายสาเหตุ เช่นในกรณีของเทศบาลนครระยองมีปัญหาปริมาณขยะอินทรีย์ที่จัดเก็บได้น้อยกว่าที่คาดการณ์ไว้ กรณีเตาเผา

---

[1] กรมควบคุมมลพิษ, 2550

[2] แผนอนุรักษ์พลังงาน และแนวทาง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และลำดับความสำคัญของการใช้จ่ายเงิน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 (ในช่วงปี 2548-2554)

ขยะชุมชนของเทศบาลนครภูเก็ตมีปัญหาลักษณะสมบัติเฉพาะของขยะชุมชนในประเทศไทยที่แตกต่างจากประเทศต้นแบบของเทคโนโลยีมีค่าความร้อนต่ำกว่า 2,000 Kcal/kg ทำให้เตาเผาเสื่อมโทรมเร็วกว่าปกติ มีความเสี่ยงที่จะเกิดมลพิษทางอากาศจากการเผา เนื่องจากไม่สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงระดับที่เหมาะสมได้ และมีผลผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าที่ออกแบบไว้กว่าร้อยละ 30

นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วยังมีโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนที่ก่อสร้างแล้วเสร็จแต่ไม่สามารถเดินระบบผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ได้แก่ โครงการกำจัดขยะชุมชนโดยการใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ เกาะช้าง และโครงการนำร่องศูนย์กำจัดขยะชุมชนแบบครบวงจรขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นปัญหาเรื่องการจัดการทั้งสิ้น

จากปัญหาของโครงการต่างๆ สะท้อนให้เห็นข้อเท็จจริงว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนไม่ใช่เพียงการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม การก่อสร้างและบริหารดำเนินการระบบเท่านั้น แต่จะต้องรวมถึงกระบวนการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการกำหนดวิธีคัดแยก และจัดเก็บขนขยะชุมชนจากต้นทาง เพื่อให้ได้ขยะชุมชนส่วนที่มีลักษณะสมบัติเหมาะสมกับวิธีการที่เลือกไว้

การศึกษาวิจัยนี้เริ่มด้วยการศึกษาศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีต่างๆ จากนั้นจึงพิจารณาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนภายในประเทศไทย โดยคำนึงถึงปัจจัยความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ขีดความสามารถในการจัดการเทคโนโลยีขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และนโยบายสนับสนุนจากภาครัฐ

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาศักยภาพของขยะชุมชนในการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.3.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีในการการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

1.3.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 รวบรวมข้อมูลจากรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการโครงการวิจัยของหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา เช่น ข้อมูลด้านปริมาณขยะชุมชน องค์ประกอบขยะชุมชน การจัดการขยะชุมชนของหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นต่างๆ และเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

1.4.2 การศึกษาศักยภาพในการนำขยะชุมชนมาผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

1.4.3 การศึกษาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนทั้งในแง่ของลงทุนและดำเนินการ ผลตอบแทน การคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม

1.4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อประกอบการกำหนดวิธีการแปรรูปขยะชุมชนเป็นกระแสไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับกับต้นทุนและค่าใช้จ่าย (Benefit-Cost Analysis) รวมถึงรูปแบบการบริหารจัดการโครงการ

1.5 นิยามศัพท์

ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste) หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภค ซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว ปกติจะมีสภาพเป็นของแข็ง หรือกากหรือกึ่งของแข็ง อาจมีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจเนื่องจากความสกปรก เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ทำให้เกิดมลพิษและทัศนะอุดจาด

พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ใช้นิยามว่า “มูลฝอย” ความหมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

อรุณี ชัยสวัสดิ์[1]ให้คำจำกัดความของขยะชุมชน คือสิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและบริโภคของมนุษย์ โดยสามารถจำแนกเป็น 4 ประเภทหลัก คือ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย หรือขยะพิษ และขยะทั่วไป

ผู้ผลิตพลังงานรายเล็ก (Small Power Producer; SPP)[2] หมายถึง โครงการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration) หรือการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานนอกรูปแบบ กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง โครงการผู้ผลิตพลังงานรายเล็ก (SPP)

---

[1] อรุณี ชัยสวัสดิ์, 2547

[2] แหล่งที่มา: www.dede.go.th

แต่ละโครงการจะจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ไม่เกิน 90 MW แต่เนื่องจากผู้ผลิตพลังงานรายเล็กแต่ละแห่งสามารถขายไฟฟ้าให้ผู้บริโภคที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้โดยตรง กำลังการผลิตของโครงการมักจะอยู่ในระดับ 120-150 MW แต่ใช้รูปแบบการผลิตเป็นระบบ Cogeneration

ผู้ผลิตพลังงานขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer; VSPP)[1] หมายถึง ผู้ผลิตไฟฟ้าทั้งภาคเอกชน รัฐบาล รัฐวิสาหกิจ และประชาชนทั่วไปที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นของตนเอง มีลักษณะกระบวนการผลิตไฟฟ้าตามที่ผู้รับซื้อไฟฟ้ากำหนดไว้ เช่น เป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังน้ำขนาดเล็ก พลังน้ำขนาดเล็กมาก และก๊าซชีวภาพ (ยกเว้นการใช้น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และพลังนิวเคลียร์) โดยมีปริมาณพลังไฟฟ้าขายเข้าระบบไม่เกิน 1 MW การผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตพลังงานขนาดเล็กมากจะต้องขายไฟฟ้าเข้าระบบให้กับไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายคือ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งจะต้องดำเนินการภายใต้ "ระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย"

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มากเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไปเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีกเรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น

ขยะอินทรีย์ (Organic Waste) หมายถึง ขยะที่ย่อยสลายได้ประกอบด้วย เศษอาหาร เศษพืชผักผลไม้ รวมตลอดสิ่งอื่นใดที่เป็นอินทรีย์วัตถุที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยที่ไม่ใช่มูลฝอยติดเชื้อและไม่ใช่มูลฝอยอันตราย

การจัดการขยะชุมชน (Municipal Solid Waste Management) มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่การเกิดขยะชุมชน การคัดแยกจากแหล่งกำเนิด การทิ้ง การเก็บขน ขนส่ง ขนถ่าย การใช้ประโยชน์จากขยะชุมชนประเภทต่างๆ และกระบวนการกำจัดสุดท้ายด้วยวิธีฝังกลบที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล

องค์ประกอบของขยะชุมชน (Composition of Municipal Solid Wastes) ในงานวิจัยนี้ส่วนใหญ่หมายถึง องค์ประกอบทางกายภาพ (Physical Composition) ของขยะชุมชน ได้แก่ เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก ยางและหนัง เป็นต้น

---

[1] [2] แหล่งที่มา: www.dede.go.th

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) หมายถึง ปริมาณน้ำในรูปของร้อยละของน้ำหนักของขยะชุมชน

ค่าความร้อน (Heating Value หรือ Calorific Value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกจากการเผาไหม้ของสสารหรือวัตถุนั้นๆ มีหน่วยเป็นปริมาณพลังงานความร้อนต่อน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้จะใช้หน่วยเป็น Kcal/kg

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) หมายถึง อัตราผลตอบแทนรายปีที่ได้รับจากการลงทุนในโครงการ โดยอัตราผลตอบแทนภายในที่เหมาะสมจะต้องไม่น้อยกว่าผลตอบแทนที่ได้รับในกรณีที่ลงทุนในพันธบัตร หรือรายได้จากดอกเบี้ยฝากประจำและรวมถึงค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในการลงทุนในโครงการนั้นๆ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ผลสรุปเกี่ยวกับการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน โดยพิจารณาจากปัจจัยด้านขีดความสามารถด้านการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

1.6.2 ความเป็นไปได้ในการลงทุนโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเอกชนในโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

1.6.3 แนวทางในการบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีการดำเนินงานมานานแล้วในหลายประเทศ โดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันตามลักษณะสมบัติของขยะชุมชนและปัจจัยแวดล้อมของแต่ละประเทศ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งรูปแบบการจัดการเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากขยะชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศนั้นๆ สำหรับในกรณีของประเทศไทย พบว่าโครงการด้านผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน แม้ว่าได้มีการศึกษามานานแล้ว โดยมีการดำเนินการในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่กี่แห่งแต่การดำเนินงานจริงยังคงมีข้อจำกัด ซึ่งแต่ละแห่งยังคงมีปัญหาในหลายด้านทั้งทางด้านเทคนิค และการบริหารจัดการให้ได้ผลดีและมีประสิทธิภาพ

ในการศึกษานี้จึงได้รวบรวมและนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยเริ่มจากสถานการณ์ด้านการจัดการขยะชุมชนทั่วประเทศ ข้อมูลพื้นฐานของการจัดการขยะชุมชนประกอบด้วย ปริมาณ และองค์ประกอบขยะชุมชน การเก็บรวบรวม ขนส่งและนำไปกำจัด การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน นโยบายและกฎหมายด้านการจัดการขยะชุมชน และนโยบายที่สนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน ตลอดจนถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศึกษานโยบายและสถานการณ์ด้านการจัดการขยะชุมชนและพลังงานทดแทน

2.1.1 นโยบายด้านการจัดการขยะชุมชน

นโยบายการจัดการขยะชุมชนในภาพรวมของรัฐ ประกอบด้วย การควบคุมอัตราการเกิดขยะชุมชนของประชาชน การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด การนำขยะชุมชนที่มีศักยภาพกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และลดปริมาณขยะชุมชนที่ต้องนำไปกำจัดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน การสนับสนุนเทคนิควิชาการแก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นให้มีการจัดการขยะชุมชนตามหลักสุขาภิบาล สนับสนุนให้ภาคเอกชนร่วมลงทุนก่อสร้าง/บริหาร/ดำเนินการระบบ ส่งเสริมสนับสนุนให้องค์กรเอกชนและประชาชนมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาขยะชุมชน และสนับสนุนให้มีกฎระเบียบและหลักเกณฑ์จัดการขยะชุมชนที่หน่วยงานต่างๆ ได้ถือปฏิบัติ โดยแบ่งออกเป็น

2.1.1.1 แผนการจัดการขยะแห่งชาติ (ฉบับร่าง มิถุนายน 2546)

ปัจจุบันแผนการจัดการขยะแห่งชาติ (ฉบับร่าง) ได้จัดทำขึ้นตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 21 มกราคม 2546 ที่มอบหมายให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรับโอนภารกิจการจัดทำแผนดังกล่าวต่อจากกระทรวงมหาดไทย โดยทำหน้าที่เป็นหน่วยงานหลักในการจัดทำแผนเพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และคณะรัฐมนตรีพิจารณาให้ความเห็นชอบก่อนจะผลักดันให้เป็นวาระแห่งชาติ เพื่อให้มีการนำมาตรการและแนวทางปฏิบัติที่กำหนดไว้ไปดำเนินการให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายต่อไป รวมทั้งเพื่อใช้เป็นกรอบและแนวทางในการดำเนินงานด้านการจัดการขยะชุมชนในภาพรวมของประเทศในระยะยาว วัตถุประสงค์ของแผนการจัดการขยะแห่งชาติ สรุปได้ดังนี้

(1) เพื่อให้มีการบริหารจัดการขยะชุมชนที่มีความถูกต้องตามหลักวิชาการเป็นระบบและครบวงจร เน้นการนำขยะชุมชนที่มีศักยภาพกลับมาใช้ประโยชน์มากที่สุด และลดปริมาณขยะชุมชนที่จะต้องนำไปบำบัดและกำจัดให้น้อยที่สุด โดยวิธีการจัดการจะต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน

(2) เพื่อให้เกิดระบบบริหารจัดการขยะชุมชนที่เน้นการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วนทั้งจากหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องในส่วนกลางและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจากภาคเอกชน และภาคประชาชน โดยการดำเนินงานจะต้องเป็นไปในลักษณะของการบูรณาการและก่อให้เกิดผลในทางปฏิบัติมากที่สุด ดังเป้าหมายดังต่อไปนี้

(2.1) ควบคุมอัตราการเกิดขยะชุมชนในปี 2549 ให้มีไม่เกิน 1 กก./คน/วัน ในเขตกรุงเทพมหานคร เมืองพัทยา และเทศบาลนคร ไม่เกิน 0.8 และ 0.6 กก./คน/วันในเขตเทศบาลเมือง และเทศบาลตำบล และไม่เกิน 0.4 กิโลกรัม/คน/วัน ในเขตองค์การบริหารส่วนตำบล

(2.2) ควบคุมปริมาณขยะตกค้างจากการให้บริการจัดเก็บให้มีไม่เกินร้อยละ 5 ในเขตกรุงเทพมหานคร เมืองพัทยา และเทศบาล และไม่เกินร้อยละ 10 ในเขตองค์การ-บริหารส่วนตำบล ภายในปี 2549

(2.3) สนับสนุนให้มีการใช้ประโยชน์จากขยะรวมในอัตราไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นภายในปี 2549

(2.4) สนับสนุนให้มีการจัดตั้งศูนย์กำจัดขยะชุมชนที่เป็นระบบครบวงจรไม่น้อยกว่า ร้อยละ 50 ของจำนวนจังหวัดทั้งหมดภายในปี 2549 และครบทั่วทั้งประเทศภายในปี 2554 มาตรการและแนวทางปฏิบัติที่กำหนดไว้ในแผนการจัดการขยะแห่งชาติฉบับนี้ ถือเป็นกรอบที่ใช้สำหรับแก้ไขปัญหาการจัดการขยะชุมชนในภาพรวมของประเทศแบบครบวงจร กล่าวคือ จะเป็นมาตรการและแนวทางปฏิบัติที่รองรับปัญหาที่เกิดขึ้นในวงจรการเกิดขยะชุมชน ตั้งแต่จุดกำเนิดจนถึงการกำจัดขั้นสุดท้าย มาตรการต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จำแนกออกเป็น 4

ด้าน ได้แก่ มาตรการทางสังคม เศรษฐศาสตร์ กฎหมาย และมาตรการสนับสนุนอื่นๆ ทั้งนี้จะครอบคลุมเฉพาะมาตรการและแนวทางในการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะชุมชนที่มีแหล่ง กำเนิดมาจากชุมชนเท่านั้น โดยไม่รวมถึงการจัดการขยะที่มาจากภาคอุตสาหกรรม สำหรับสาระสำคัญของมาตรการและแนวทางปฏิบัติทั้ง 4 ด้านที่กำหนดไว้ในแผนการจัดการขยะแห่งชาติฉบับนี้มีประเด็นหลักๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ ดังนี้

(2.4.1) มาตรการและแนวทางปฏิบัติด้านสังคม

<u>มาตรการที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง</u> ได้แก่

- สร้างจิตสำนึกให้ประชาชนนิยมใช้สินค้าที่สามารถใช้ซ้ำ หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้
- ส่งเสริมและสนับสนุนให้ประชาชนมีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด โดยเน้นการคัดแยกขยะชุมชนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ออกจากขยะทั่วไป

<u>แนวทางปฏิบัติที่สำคัญ ๆ และเกี่ยวข้อง</u> ได้แก่

- ให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมดำเนินการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนนิยมใช้สินค้าที่สามารถใช้ซ้ำ หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ รวมทั้งให้กระทรวงศึกษาธิการจัดทำหลักสูตรการเรียนการสอนในการศึกษาทุกระดับเพื่อให้นักเรียนนักศึกษานิยมใช้สินค้าที่สามารถใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์
- ให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรณรงค์และประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนคัดแยกขยะชุมชนก่อนทิ้ง และนำกลับมาใช้ประโยชน์

(2.4.2) มาตรการและแนวทางปฏิบัติด้านเศรษฐศาสตร์

<u>มาตรการที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง</u> ได้แก่

- เพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมและขนส่งขยะในชุมชน
- เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าธรรมเนียม และบริหารต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมและขนส่งขยะชุมชน
- เพิ่มขีดความสามารถขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการดูแลรักษาระบบบำบัดและกำจัดขยะชุมชนให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

<u>แนวทางปฏิบัติที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง</u>ได้แก่

- ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจัดหาอุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมและขนส่งขยะชุมชนให้เพียงพอและสอดคล้องกับปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในชุมชน รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมดำเนินงานเก็บรวบรวมและขนส่งขยะชุมชน
- ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นปรับปรุงระบบการจัดเก็บค่าธรรมเนียมให้สอดคล้องกับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

- ให้สำนักนายกรัฐมนตรี โดยสำนักงานคณะกรรมการการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จัดสรรเงินงบประมาณให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจัดตั้งศูนย์จัดการขยะรวมแบบครบวงจร รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคเอกชนเข้ามาดำเนินการเกี่ยวกับระบบดังกล่าว

(2.4.3) มาตรการและแนวทางปฏิบัติด้านกฎหมาย

<u>มาตรการที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง</u> ได้แก่

- กำหนดกฎระเบียบให้หน่วยงานของรัฐจัดซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบจากวัสดุรีไซเคิล และวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

- กำหนดกฎระเบียบให้ประชาชนคัดแยกประเภทของเสียอันตรายจากขยะทั่วไป

- กำหนดมาตรฐานและมาตรการเพื่อควบคุมการดำเนินงานของสถานที่บำบัดและกำจัดขยะชุมชน

<u>แนวทางปฏิบัติที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง ได้แก่</u>

- ให้สำนักนายกรัฐมนตรีโดยคณะกรรมการพัสดุแห่งชาติ กำหนดให้ส่วนราชการและหน่วยงานของรัฐใช้สินค้าที่มีส่วนประกอบจากวัสดุรีไซเคิลและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

- ให้กระทรวงสาธารณสุขร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเร่งรัดการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม พ.ร.บ. การสาธารณสุข พ.ศ. 2535 เกี่ยวกับวิธีการบำบัดและการกำจัดขยะชุมชน เพื่อให้สามารถกำหนดหลักเกณฑ์ทางด้านวิชาการในการบำบัดและกำจัดขยะชุมชน

(2.4.4) มาตรการและแนวทางปฏิบัติด้านการสนับสนุนอื่นๆ

<u>มาตรการที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง</u> ได้แก่

- เพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมและขนส่ง ขยะในชุมชน

- สนับสนุนให้ทุกจังหวัดจัดเตรียมพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับเป็นสถานที่ก่อสร้างระบบบำบัดและกำจัดขยะชุมชน

<u>แนวทางปฏิบัติที่สำคัญๆ และเกี่ยวข้อง</u> ได้แก่

- ให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฝึกอบรมและเผยแพร่ความรู้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเรื่องการเก็บรวบรวมและขนส่งขยะชุมชนที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

- ให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมให้การสนับสนุนทางวิชาการแก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพิจารณาคัดเลือกสถานที่ที่เหมาะสม เพื่อการก่อสร้างระบบบำบัดและกำจัดขยะชุมชน ทั้งนี้ให้พิจารณาเลือกใช้พื้นที่ที่อยู่ในความครอบครองของรัฐเป็นอันดับแรก

2.1.1.2 แผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับจังหวัด

การจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับจังหวัดมีหลักการและวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการประสานและเชื่อมโยงสอดคล้องกับกิจกรรมที่ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ทั้งในเชิงรุกและเชิงรับที่ดำเนินการโดยภาคราชการและองค์กรประชาชนในพื้นที่แต่ละจังหวัดให้สามารถป้องกัน และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของแต่ละจังหวัดอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดตามหลักการพื้นที่ ภารกิจการมีส่วนร่วม (Area-Function-Participation: AFP)

(1) ยึดพื้นที่เป็นหลักในการจัดแผนปฏิบัติการฯ ในระดับจังหวัด เป็นการยึดปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่เป็นหลัก ซึ่งแนวคิดนี้มิได้กำจัดเฉพาะปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ตำบลใดตำบลหนึ่งเท่านั้น แต่ยังรวมถึงปัญหาที่คาบเกี่ยวระหว่างจังหวัด อำเภอ หรือตำบล เช่น บางลำน้ำหรือลุ่มน้ำที่มีอาณาเขตคาบเกี่ยวพื้นที่หลายจังหวัดติดต่อกัน แนวคิดนี้ได้เปิดโอกาสให้จังหวัด อำเภอ ตำบลที่มีปัญหาคาบเกี่ยว ตระหนักในปัญหาร่วมกันและเสนอโครงการปฏิบัติร่วมกันได้

(2) กำหนดภารกิจ โดยประสานโครงการ/กิจกรรมที่เหมาะสมเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของพื้นที่

(3) เน้นการมีส่วนร่วมของหลายฝ่ายทั้งภาคราชการ ภาคเอกชน และประชาชนในการจัดทำแผนปฏิบัติการฯ เพื่อให้ทุกจังหวัดสามารถริเริ่ม และดำเนินการจัดการสิ่งแวดล้อมได้อย่างครบถ้วนตามสภาพปัญหาและความจำเป็น เพื่อให้การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมภายใต้ระบบแผนจังหวัดมีความต่อเนื่อง จึงควรยึดกรอบ/แนวทางของแต่ละกลุ่มงานภายใต้แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2545-2549 ซึ่งได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษาแล้วการจัดทำแผนปฏิบัติการฯ ในระดับจังหวัดได้พิจารณาตามประเด็นปัญหาที่มีความสำคัญเร่งด่วนและครบวงจร โดยมีกิจกรรมการป้องกันและการแก้ไขปัญหา อาทิ การส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อม การติดตามเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูและบำบัดด้านสิ่งแวดล้อม หรือการศึกษาวิจัยเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมเบ็ดเสร็จอยู่ในโครงการเดียว เพื่อบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตามจากการประกาศใช้ พ.ร.บ.กำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พ.ศ. 2542 และแผนปฏิบัติการกำหนดขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้กำหนดให้สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมดำเนินการถ่ายโอนภารกิจภายใต้แผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับจังหวัดให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปีงบประมาณ ปี 2545 เป็นต้นไป ดังนั้น นโยบายด้านการจัดการขยะชุมชนในระดับจังหวัด ทางองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะเป็นหน่วยงานหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการบริหารจัดการขยะชุมชนโดยจะต้องให้ความสำคัญต่อการเตรียมความพร้อม

ของบุคลากรที่รับผิดชอบดูแลรักษาระบบ แผนการบริหารงานและเงิน การจัดเก็บค่าบริการ การประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ความเข้าใจต่อประชาชนเพื่อให้เกิดการยอมรับและการมีส่วนร่วม และสำหรับพื้นที่ใหม่ที่มีแนวคิดที่จะริเริ่มโครงการ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องดำเนินการตามกระบวนการของแผนปฏิบัติการฯ ในระดับจังหวัด รวมทั้งจะต้องให้ความสำคัญต่อการสร้างความเข้าใจ และเปิดโอกาสให้ประชาชนได้เข้ามามีส่วนร่วมทุกขั้นตอน ตลอดจนจะต้องมีการวางแผนเพื่อเตรียมความพร้อมของบุคลากรแผนการบริหารจัดการโครงการเพื่อให้ได้รับความเชื่อถือและมั่นใจว่าสามารถบริหารโครงการได้บรรลุผลสำเร็จ

ในส่วนของแนวทางการจัดการด้านพลังงานมีแนวทางในการจัดการ คือ เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน รณรงค์ให้ผู้บริโภคใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และให้ผู้ประกอบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งเพิ่มการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.2 สถานการณ์การจัดการขยะชุมชน

การจัดการขยะชุมชนเป็นภารกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในด้านการให้บริการระบบสาธารณูปโภคแก่ชุมชนที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง เพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบเรียบร้อยภายในชุมชน ทำให้ประชาชนมีสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตที่ดี และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมให้เป็นสังคมที่น่าอยู่ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันปัญหาการจัดการขยะชุมชนซึ่งครอบคลุมทั้งในด้านการเก็บรวบรวมขนส่ง และกำจัดขยะชุมชนเป็นปัญหาใหญ่และน่าวิตกมากสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในด้านการบริหารจัดการให้ได้ผลดีและมีประสิทธิภาพ

2.1.2.1 ปริมาณและองค์ประกอบของขยะชุมชน

จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยประจำปี 2548 ของกรมควบคุมมลพิษได้รายงานว่า ในปี 2548 มีปริมาณขยะชุมชนเกิดขึ้น 14.3 ล้านตันลดลงจากปี 2547 ประมาณ 0.3 ล้านตัน แบ่งเป็นขยะชุมชนที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลและเมืองพัทยาประมาณวันละ 12,635 ตัน (ร้อยละ 32) นอกเขตเทศบาลและในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลประมาณวันละ 18,295 ตัน (ร้อยละ 47) และกรุงเทพมหานครประมาณวันละ 8,291 ตัน (ร้อยละ 21) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (ข้อมูลปริมาณขยะชุมชนของแต่ละจังหวัดทั่วประเทศ แยกเป็นรายภาคและรายจังหวัดนำเสนอใน**ภาคผนวก ก**)

ตารางที่ 2.1 สรุปปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นในปี 2548

ปี	ปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้น (ตัน/วัน)			รวมปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้น	
	กรุงเทพมหานคร	เทศบาลและเมืองพัทยา	นอกเขตเทศบาล	(ตัน/วัน)	(ล้านตัน/ปี)
2547	9,356	12,500	18,100	39,956	14.6
2548	8,291	12,635	18,295	39,221	14.3

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางกายภาพของขยะชุมชนดังแสดงในตารางที่ 2.2 ชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบทางกายภาพส่วนใหญ่ คือขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ (ร้อยละ 62.99) รองลงมาคือ ขยะรีไซเคิล (ร้อยละ 26.16) นอกนั้นเป็นขยะทั่วไป และขยะอันตราย มีสัดส่วนรวมกัน ร้อยละ 10.85 ด้านความหนาแน่นปกติของขยะชุมชนตัวอย่าง (Bulk Density) มีค่าความหนาแน่นปกติเฉลี่ย 183.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (องค์ประกอบขยะชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทยนำเสนอใน**ภาคผนวก ข**)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบขยะชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทย

องค์ประกอบทางกายภาพ	เหนือ	กลาง	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	เฉลี่ย
ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้	59.71	62.56	67.53	67.53	57.65	61.43
เศษไม้ ใบไม้ หญ้า	0.96	0.60	0.51	0.77	0.25	0.62
ขยะรีไซเคิล	24.06	20.43	20.21	21.61	26.73	22.61
ขยะอันตราย	0.05	0.34	0.14	0.37	0.19	0.22
ขยะทั่วไป	15.23	16.34	11.61	17.57	15.18	15.19
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	179.47	185.28	176.82	167.28	209.40	183.65

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ 2547

หมายเหตุ : หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมี พบว่าขยะชุมชนตัวอย่างมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 71.75 โดยน้ำหนัก ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid: TS) และปริมาณ

ของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile Solid, VS) ของขยะชุมชนตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 28.25 และ 84.65 โดยน้ำหนักตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบด้านเคมีของขยะชุมชน เช่น ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน และค่าความร้อน แสดงในตารางที่ 2.3

จากตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนของขยะชุมชนตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้มีค่าเฉลี่ย 7,533.01 cal/g โดยน้ำหนักแห้ง หรือที่เรียกว่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ซึ่งเกิดขึ้นได้เฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น ขณะที่ค่า Higher Solid Caloric Value (HSCV) เป็นค่าความร้อนที่เผาไหม้เฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งที่ปราศจากความชื้น ดังนั้น สำหรับการใช้ประโยชน์เพื่อการคำนวณ และการออกแบบระบบกำจัดขยะชุมชนจะต้องคำนวณค่าความร้อนที่ใกล้เคียงสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในการได้มาซึ่งพลังงานความร้อนจากขยะชุมชน โดยใช้ค่า Lower Solid Caloric Value (LSCV) ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้สารตามปกติ จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความร้อนเฉลี่ยสำหรับขยะชุมชนมีค่าประมาณ 1,741.48 cal/g

ค่าความร้อนจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของขยะชุมชนกล่าวคือ ปริมาณคาร์บอน และไฮโดรเจนในองค์ประกอบของขยะชุมชนจะช่วยให้มีค่าความร้อนสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณอ๊อกซิเจน และน้ำจะทำให้ขยะชุมชนทำให้ค่าความร้อนลดลง หากขยะที่มีสัดส่วนของขยะอินทรีย์ซึ่งมีค่าความชื้นหรือสัดส่วนของอ๊อกซิเจน และน้ำสูงจะส่งผลให้เมื่อนำขยะชุมชนไปเผาเพื่อผลิตพลังงานจะได้ค่าความร้อนจากขยะต่ำ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบของขยะชุมชนย่อมมีผลต่อค่าความร้อนของขยะ เช่น สัดส่วนของขยะอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลง

ดังจะเห็นได้ว่าหากมีการแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดโดยเฉพาะการแยกวัสดุรีไซเคิลออกจากขยะชุมชนไม่ได้ทำให้ค่าความร้อนของขยะชุมชนเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากยังคงมีพลาสติกส่วนใหญ่ที่ไม่คุ้มกับการนำกลับมาใช้ใหม่เชิงพาณิชย์ (Non Recycle Plastics) เป็นองค์ประกอบสำคัญของขยะชุมชนที่นำเข้าเตาเผา แต่ในกรณีที่มีการคัดแยกขยะอินทรีย์ออกจากปริมาณขยะชุมชน ค่าความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ดังนั้นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยกระบวนการทางความร้อน เช่น การเผา มีจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงการคัดแยกจากต้นทางโดยเฉพาะอย่างยิ่งการคัดแยกขยะอินทรีย์

ตารางที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีขยะชุมชนที่สุ่มจากสถานที่กำจัดขยะชุมชนตัวอย่าง

สถานที่กำจัดขยะชุมชน	%mc	TS	%VS	%C	%H	%O	%N	%P	%S	ค่าความร้อน, cal/g*		
										DSCV	HSCV**	LHCV**
ทน. เชียงใหม่	67.60	32.40	86.86	48.26	5.43	32.18	0.66	0.28	0.058	6,652.18	2,155.31	1,841.93
ทน. ลำปาง	78.84	21.16	89.68	49.82	5.61	33.59	0.38	0.28	0.003	7,945.65	1,681.30	1,357.66
ทม. พิจิตร	74.42	25.58	82.89	46.05	5.18	30.61	0.78	0.26	0.004	8,144.81	2,083.44	1,784.29
ทน. นครสวรรค์	52.67	47.33	84.60	47.00	5.29	30.99	1.13	0.12	0.071	3,403.97	1,611.10	1,306.01
ทน. สมุทรสาคร	76.63	23.37	89.07	49.48	5.57	33.86	0.10	0.06	0.000	9,436.30	2,205.26	1,883.85
ทม. ปทุมธานี	74.40	25.60	74.97	41.65	4.69	27.01	1.49	0.04	0.094	6,942.65	1,777.32	1,506.68
ทม. ลพบุรี	77.66	22.34	74.97	41.65	4.69	28.09	0.20	0.34	0.000	5,272.30	1,177.83	907.16
ทน. อุดรธานี	66.39	33.61	83.46	46.37	5.22	34.58	0.81	0.32	0.000	4,999.00	1,680.16	1,379.04
ทน. ขอนแก่น	77.67	22.33	86.68	48.16	5.42	32.77	0.28	0.05	0.002	10,141.18	2,264.53	1,951.70
ทม. ศรีษะเกษ	75.69	24.31	90.50	50.28	5.66	33.46	0.70	0.33	0.081	9,887.38	2,403.62	2,077.07
ทม. ตราด	73.90	26.10	87.52	48.62	5.47	33.08	0.20	0.15	0.002	8,783.28	2,292.44	1,976.63
ทต. เกาะสมุย	73.90	26.10	90.68	50.38	5.67	33.29	1.15	0.08	0.112	8,591.49	2,242.38	1,915.19
สถานีกำจัดหนองแขม	67.93	32.07	91.28	50.71	5.71	34.40	0.26	0.20	0.001	8,500.71	2,726.18	2,396.89
สถานีกำจัดท่าแร้ง	76.17	23.83	78.31	43.51	4.89	29.57	0.26	0.08	0.001	7,100.31	1,692.00	1,409.33
สถานีกำจัดอ่อนนุช	62.31	37.69	78.31	43.51	4.89	29.36	0.34	0.21	0.001	7,193.87	2,711.37	2,428.83
เฉลี่ย	71.75	28.25	84.65	47.03	5.29	31.79	0.58	0.19	0.03	7,533.01	2,046.95	1,741.48

หมายเหตุ: * วิเคราะห์ด้วย Bomb Calorimeter, **ประมาณการโดยการคำนวณ

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ 2546 และปรับปรุงค่าHSCVและLSCVโดยที่ปรึกษา (HSCV= [DSCV*TS]/100, LSCV= [HSCV-600(9*(VS/15))-mc]/100)

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความร้อน (cal/g) กับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของขยะชุมชน

		สัดส่วนของขยะรีไซเคิลที่ลดลง (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
สัดส่วนของขยะอินทรีย์ที่ลดลง (%)	0	1,757	1,764	1,772	1,780	1,787	1,795	1,804	1,812	1,821	1,830	1,839
	10	1,858	1,868	1,877	1,887	1,897	1,907	1,918	1,929	1,940	1,961	1,963
	20	1,976	1,988	2,000	2,012	2,025	2,038	2,052	2,066	2,080	2,095	2,111
	30	2,113	2,128	2,144	2,160	2,176	2,193	2,211	2,229	2,248	2,268	2,288
	40	2,277	2,296	2,316	2,337	2,359	2,381	2,404	2,428	2,453	2,479	2,507
	50	2,475	2,500	2,526	2,554	2,582	2,612	2,643	2,675	2,709	2,744	2,781
	60	2,719	2,752	2,787	2,824	2,863	2,903	2,945	2,990	3,036	3,086	3,138
	70	3,027	3,073	3,121	3,172	3,225	3,281	3,341	3,404	3,471	3,542	3,618
	80	3,429	3,493	3,562	3,634	3,712	3,794	3,882	3,976	4,076	4,185	4,302
	90	3,974	4,070	4,172	4,281	4,399	4,526	4,664	4,813	4,976	5,155	5,351
	100	4,758	4,908	5,071	5,249	5,444	5,659	5,896	6,161	6,456	6,790	7,168

ที่มา: รายงานสรุปผู้บริหาร โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการจัดการขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ตโดยมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

2.1.2.2 การจัดการขยะชุมชน

1) การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด

การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของกระบวนการจัดการขยะชุมชน มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณขยะชุมชนบางส่วนจะถูกคัดแยกและนำไปใช้ประโยชน์ก่อนที่ประชาชนจะทิ้งและถูกเก็บขนไปกำจัด ซึ่งนอกจากช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดการแล้วยังทำให้การกำจัดขยะชุมชนในขั้นตอนสุดท้ายไม่ซับซ้อนและสามารถควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่จะเห็นความสำคัญของการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด และได้จัดงบประมาณเพื่อรณรงค์หรือทำกิจกรรมสนับสนุนการคัดแยกมาเป็นเวลานานแล้ว แต่การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดก็ยังไม่เกิดผลเป็นรูปธรรม สาเหตุหนึ่งเกิดจากการดำเนินการดังกล่าวขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมักให้ความสำคัญแค่เพียงกิจกรรมรณรงค์สร้างจิตสำนึกที่ไม่มีความต่อเนื่อง และไม่เข้าใจว่าการมีส่วนร่วมในการคัดแยกขยะชุมชนของประชาชนเป็นส่วนสำคัญของระบบการจัดการและมีความ

เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บและระบบกำจัด ดังเช่นที่เทศบาลนครระยอง เทศบาลนครลำปาง เทศบาลนครขอนแก่น และเทศบาลนครภูเก็ต ได้ทดลองรูปแบบการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด โดยกำหนดวิธีการเก็บขนให้สอดคล้องกับการคัดแยกขยะชุมชน เพื่อนำขยะอินทรีย์ส่วนที่คัดแยกได้ไปใช้ประโยชน์เช่นนำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ หรือผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการชีวเคมี เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การพัฒนากระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนให้คัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องยั่งยืนจะต้องใช้มาตรการอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น การใช้มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การกำหนดค่าธรรมเนียมและการปรับกรณีที่ไม่คัดแยกขยะชุมชนตามที่กำหนด หรือการใช้มาตรการทางกฎหมายเพื่อสนับสนุนให้เกิดการคัดแยกอย่างจริงจัง ซึ่งการใช้มาตรการเหล่านี้ยังไม่เกิดขึ้นในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาถึงกรณีของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดจะยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และมีตัวอย่างในกรณีของเทศบาลนครภูเก็ตที่ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเตาเผา ซึ่งขยะชุมชนที่นำเข้าสู่ระบบเป็นขยะชุมชนที่ไม่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิด และมีสัดส่วนของขยะอินทรีย์ประมาณร้อยละ 60 มีความชื้นสูง เป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ถึงร้อยละ 30 และเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สภาพของเตาเผาชำรุดเสียหายเร็วกว่าที่คาดการณ์

2) การเก็บขน

แม้ว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่จะจัดให้มีการรณรงค์และให้ความรู้ความเข้าใจด้านการคัดแยกขยะแก่ชุมชนมาเป็นระยะเวลานาน หรือการจัดวางถังรองรับแยกประเภท เช่น ถังขยะแห้ง ถังขยะเปียก หรือถังขยะพิษอันตราย เป็นต้น แต่พฤติกรรมการทิ้งของประชาชนยังคงคุ้นเคยกับการทิ้งขยะลงในถังรวมจนกล่าวกันว่า สังคมไทยไม่มีวันแยกขยะได้ เพราะประชาชนไม่มีวินัย ขณะเดียวกันประชาชนกลับให้เหตุผลของความล้มเหลวในการคัดแยกขยะชุมชนว่าเกิดจากความไม่เอาจริงขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยให้ข้อสังเกตว่า องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรณรงค์ให้ประชาชนแยกขยะ แต่กลับจัดเก็บขยะที่แยกแล้วใส่รวมลงในรถคันเดียวกันทำให้การมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะชุมชนไม่เกิดประโยชน์

ในการรวบรวมประสบการณ์ด้านการจัดการขยะชุมชนของต่างประเทศที่ประสบความสำเร็จ พบว่า การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดเป็นปัจจัยพื้นฐานของการจัดการขยะชุมชน ที่จะนำไปสู่การกำหนดวิธีการจัดเก็บและการใช้ประโยชน์หรือการกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย

สำหรับการเก็บขนขยะชุมชนในปัจจุบัน มีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหลายแห่ง เช่น เมืองพัทยา และเทศบาลขนาดใหญ่ ได้ให้ชุมชนและเอกชนมีส่วนร่วมในการดำเนินงานจัดการขยะชุมชน โดยการสนับสนุนงบประมาณให้ชุมชนต่างๆ ดำเนินกิจกรรมเพื่อ

แก้ไขปัญหาการจัดการขยะชุมชน การรักษาความสะอาด การจัดตั้งธนาคารขยะ ในส่วนภาคเอกชนได้มีการว่าจ้างให้เข้ามาดำเนินงานทั้งในการเก็บรวบรวม การขนส่ง การกำจัด ตลอดจนกระทั่งการเก็บค่าธรรมเนียมเก็บขน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการขยะชุมชน ลดการลงทุนในการจัดหาถังรองรับขยะชุมชนและรถยนต์ขนส่งขยะชุมชน แก้ปัญหาขาดอัตรากำลังหรือบุคคลากรในการดำเนินงาน ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีที่ช่วยแก้ปัญหาเรื่องการจัดสรรงบประมาณสำหรับการจัดซื้อจัดหาเครื่องจักร อุปกรณ์ และรถเก็บขน โดยให้เอกชนลงทุนหรือจัดหาแหล่งเงินทุนให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

3) การกำจัด

การกำจัดขยะชุมชนในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ยังคงเป็นการเทกองและเผาทิ้ง ก่อให้เกิดผลกระทบและมีผลต่อเนื่องถึงความเชื่อมั่นในการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น แม้ว่ารัฐจะจัดสรรงบประมาณจำนวนมากให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเพื่อก่อสร้างสถานที่ฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล แต่ในที่สุดการบริหารดำเนินการที่ต่ำกว่ามาตรฐานทำให้สถานที่ฝังกลบเหล่านั้นประสบปัญหาและมีสภาพไม่แตกต่างจากการเทกอง เมื่อสอบถามสาเหตุมักจะได้คำตอบว่าเป็นปัญหาขาดแคลนบุคลากรและงบประมาณในการจัดการ

จากรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมปี 2548 จัดทำโดยสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สรุปว่าวิธีการกำจัดขยะชุมชนที่ใช้ในปัจจุบันมีด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่

- การเทกองบนพื้น/ฝังในหลุม
- วิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)
- วิธีการหมักทำปุ๋ย (Composting) ทั้งที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Digestion) และไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
- การใช้เตาเผา (Incineration)

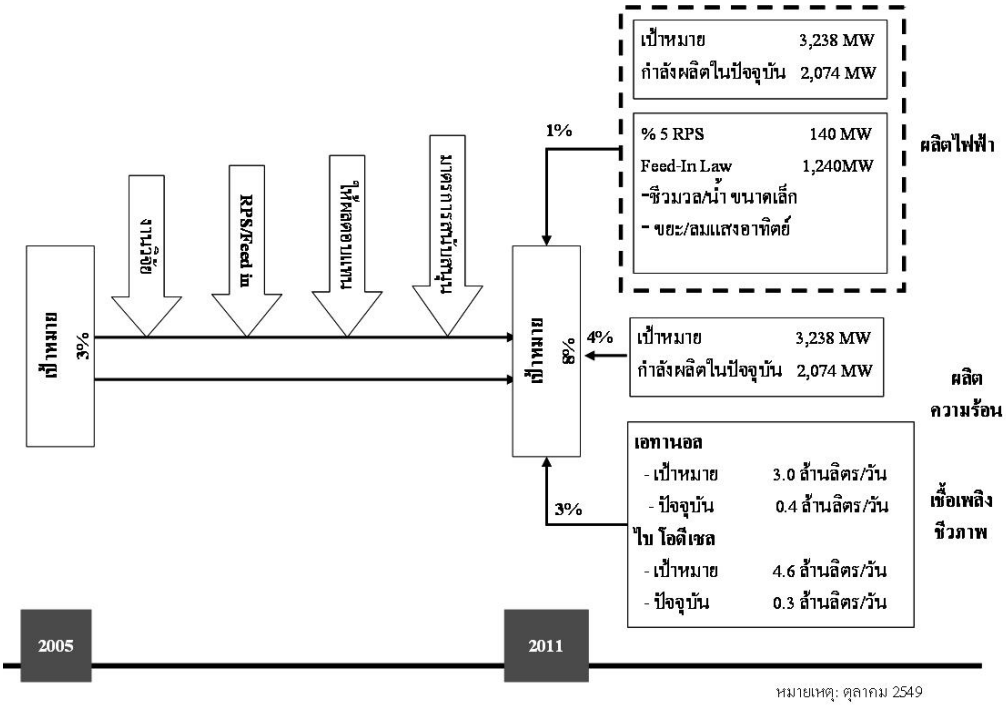
โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่ยังคงดำเนินการกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการเทกองกลางแจ้ง หรือเทลงหลุมแล้วปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ หรือใช้วิธีการเผาทิ้งเป็นครั้งคราว และบางแห่งก็มีการใช้ดินกลบทับเป็นครั้งคราว หรือกลบทับในครั้งสุดท้าย และบางแห่งก็ใช้น้ำยาสารเคมี หรือน้ำจุลินทรีย์ชีวภาพฉีดบนกองขยะเพื่อควบคุมกลิ่นและแมลงวัน ซึ่งวิธีการเหล่านี้ถือว่าเป็นวิธีการกำจัดขยะชุมชนที่ไม่ถูกหลักวิชาการ จึงทำให้บริเวณภายในสถานที่กำจัดขยะชุมชนเกิดสภาพสกปรก มีกลิ่นเหม็นกระจายทั่วไป กลายเป็นแหล่งแพร่กระจายของสัตว์พาหนะนำโรคต่างๆ และน้ำชะขยะไหลซึมปนเปื้อนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ทำให้สูญเสียทัศนียภาพของพื้นที่ กลายเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ใกล้เคียง

อย่างไรก็ตาม ยังมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหลายแห่งที่มีการกำจัดขยะชุมชนที่เหมาะสม เช่น การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากขยะอินทรีย์ด้วยวิธีหมักแบบเติมอากาศ หรือ Aerobic Composting ของเทศบาลตำบลเวียงฝาง การใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือ Anaerobic Digestion เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและปุ๋ยอินทรีย์ของเทศบาลนครระยอง หรือการบริหารดำเนินการสถานที่ฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลให้เป็นไปตามมาตรฐานของเทศบาลนครนครปฐม เทศบาลเมืองจันทบุรี เทศบาลนครสวรรค์ เทศบาลนครพิษณุโลก เทศบาลเมืองกระบี่ และเทศบาลเมืองชุมพร เป็นต้น นอกจากนั้น ยังมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ใช้ระบบกำจัดโดยการเผา ได้แก่ เทศบาลตำบลเกาะสมุย เทศบาลนครภูเก็ต และเทศบาลเมืองลำพูน

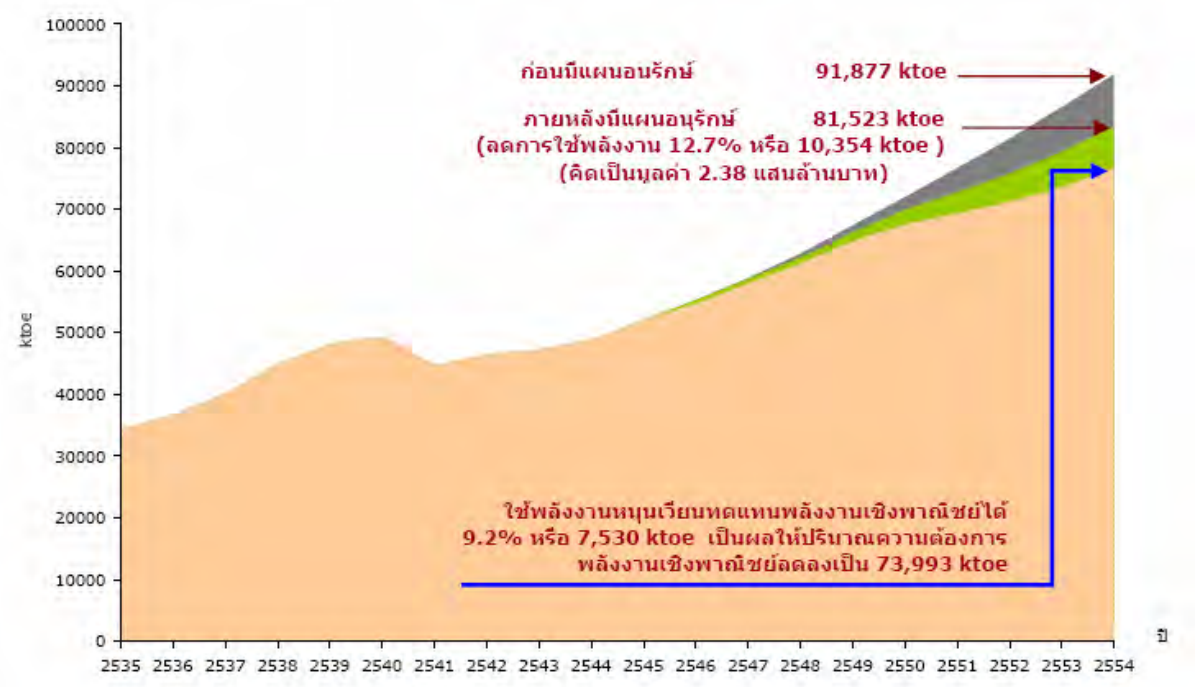
2.1.3 นโยบายและสถานการณ์ด้านพลังงานทดแทน

2.1.3.1 แผนอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 3 (ในช่วงปี 2548-2554)

โดยในแผนอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 3 (ในช่วงปี 2548-2554) กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทน ซึ่งมีเป้าหมายให้พัฒนาพลังงานทดแทนให้มีสัดส่วนการใช้เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.1) โดยที่ ในปี 2554 จะมีการใช้พลังงานอื่นๆ ในสัดส่วนร้อยละ 9.2 ของความต้องการพลังงานขั้นสุดท้ายหรือทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ประมาณ 7,530 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe-Kiloton Oil Equivalent) โดยองค์ประกอบของแผนพลังงานจะดำเนินการใน 5 ด้านคือ (1) ส่งเสริมการใช้พลังงานจากพืชโดยสนับสนุนด้านภาษีนำไปสู่มาตรการบังคับ (2) ส่งเสริมพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมาตรการระเบียบรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่ใช้พลังงานหมุนเวียนตามนโยบาย Renewable Portfolio Standard (RPS) มาตรการสนับสนุนต้นทุนทางสังคมและสิ่งแวดล้อม สนับสนุน Carbon Tax และทำการปรับปรุงระเบียบรับซื้อไฟฟ้า (3) พลังงานหมุนเวียนเพื่อการผลิตความร้อน โดยกำหนดประสิทธิภาพขั้นต่ำของระบบ Combine Heat and Power (CHP) มาตรการการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลในโรงงานอุตสาหกรรม ลดหย่อนภาษีแก่ผู้ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในอุตสาหกรรม กฎหมายการจัดการน้ำเสีย และการจัดการขยะชุมชน (4) การวิจัยเชิงนโยบาย และเชิงเทคโนโลยี (5) การประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างภาพลักษณ์และความเข้าใจในการใช้พลังงานหมุนเวียน



ภาพที่ 2.1 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนปี 2554



ภาพที่ 2.2 ปริมาณความต้องการพลังงานขั้นสุดท้ายเปรียบเทียบก่อนและหลังมีแผนอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 3

ดังมีแนวทางดำเนินการเพื่อให้บรรลุผลตามเป้าหมายการพัฒนาพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ การพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ พืช ซึ่งในที่นี้จะกล่าวในรายละเอียดถึงการพัฒนาพลังงานชีวมวลและชีวภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับขยะชุมชน ดังต่อไปนี้

(1) การพัฒนาพลังงานชีวมวล

เป้าหมาย ในปี 2554 ให้มีการใช้ประโยชน์จากไม้ ฟืนหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อผลิตไฟฟ้าได้ 955 MW หรือทดแทนพลังงานพาณิชย์ได้ประมาณ 3,441 ktoe และให้ความร้อน 232 ktoe

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขยะชุมชน คือ แผนการพัฒนาพลังงานการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวล มีดังนี้

- มาตรการบังคับให้โรงไฟฟ้าสร้างใหม่ต้องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนร้อยละ 4 ของกำลังผลิตไฟฟ้ารวม (Renewable Portfolio standard: RPS) โดยจะส่งเสริมให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนประมาณ 100 MW
- มาตรการพัฒนาต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชน เพื่อเป็นโครงการต้นแบบและเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนในอนาคต ทั้งการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซจากหลุมขยะ ก๊าซจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ และการเผาขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง รวมถึงการศึกษาเพื่อทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีต้นทุนการผลิตต่ำลง คาดว่าจะสามารถทดแทนพลังงานพาณิชย์แทนได้ 1,257 ktoe โดยเป็นการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่มีอยู่เดิม 816.6 ktoe และเป็นผลการพัฒนาตามมาตรการข้างต้น 440 ktoe

(2) แผนการพัฒนาพลังงานก๊าซชีวภาพ

เป้าหมาย ในปี 2554 ให้มีการใช้ประโยชน์จากขยะชุมชน น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม และฟาร์มสัตว์ และของเสียอื่นๆ ที่มีศักยภาพนำมาผ่านกระบวนการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพใช้ผลิตไฟฟ้า 51 MW หรือทดแทนพลังงานพาณิชย์ได้ประมาณ 1,625 ktoe

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขยะชุมชนคือ แผนการพัฒนาพลังงานก๊าวชีวภาพ มีดังนี้

- มาตราการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชน เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลุมขยะชุมชนต่างๆ 50 แห่งทั่วประเทศ ผลิตไฟฟ้าจากถังหมักขยะอินทรีย์ 5 แห่ง และผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสีย

ชุมชน 42 แห่ง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทดแทนน้ำมันเตาไฟฟ้าได้ 40 MW คิดเป็น 29.57 ktoe

2.1.3.2 นโยบายและแผนพัฒนาพลังงานของประเทศ

เมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน 2549 รัฐบาลได้กำหนดนโยบายและแผนพัฒนาพลังงานของประเทศ ซึ่งผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ดังมีสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน ดังนี้

<u>นโยบายระยะสั้น</u> เริ่มดำเนินการทันทีภายในรัฐบาลพลเอก สุรยุทธ จุลานนท์ ได้แก่

■ ส่งเสริมพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับประเทศ เพื่อกระจายชนิดเชื้อเพลิงและลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงาน

- ส่งเสริมการใช้ก๊าซธรรมชาติ (NGV) ก๊าซโซฮอล์ (Gasohol) และไบโอดีเซล (Biodiesel) ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคขนส่ง ตามความเหมาะสมกับศักยภาพด้านการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ

- สนับสนุนให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ของเสียจากอุตสาหกรรม ก๊าซชีวภาพ ขยะชุมชน ลม พลังงานแสงอาทิตย์ ในสัดส่วนและราคาที่เหมาะสม โดยเร่งออกประกาศขยายปริมาณการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตขนาดเล็กมาก (VSPP) และการกำหนดราคารับซื้อ ไฟฟ้าส่วนเพิ่มจากราคาตามระเบียบ

- จัดตั้งองค์การมหาชนเพื่อดำเนินการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนในชุมชนให้เกิดขึ้นอย่างจริงจังและยั่งยืน เนื่องจากการดำเนินการจะเป็นไปอย่างคล่องตัวและมีประสิทธิภาพ

- สนับสนุนการศึกษาวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนเชิงนโยบาย เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสม ในการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ

- เผยแพร่ให้ความรู้เพื่อให้ประชาชนรู้จักและมั่นใจการเลือกใช้เชื้อเพลิงอื่น เช่น NGV ก๊าซโซฮอล์ และไบโอดีเซล รวมทั้ง ประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความจำเป็นในการส่งเสริม และพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่นๆ เช่น ถ่านหิน และอื่นๆ

<u>นโยบายระยะยาว</u> ได้แก่ เริ่มดำเนินการศึกษา วิจัยเพื่อวางรากฐานการบริหารจัดการ พลังงานแบบยั่งยืนและ สอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง โดยจะดำเนินการจัดหาพลังงาน โดย

■ จัดหาพลังงาน

- กำหนดมาตรการที่ก่อให้เกิดการพัฒนาและจัดหาพลังงานของประเทศที่ทำให้เกิดความมั่นคง มีใช้อย่างพอเพียงและทั่วถึง และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ

- สนับสนุนส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน และศึกษาวิจัยพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่นๆ

■ พัฒนาพลังงานแบบยั่งยืน

- ให้ความสำคัญในการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการพัฒนาพลังงานควบคู่กับการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาธุรกิจพลังงาน

นอกจากนี้ การประชุมคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2549 ยังเพิ่มมาตรการในการสร้างแรงจูงใจให้มีการดำเนินงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน ดังนี้

<u>การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน</u>

- กำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ตามปริมาณพลังไฟฟ้าที่ผลิตและขายเข้าระบบสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ตามมติคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ทั้งนี้ ไม่รวมถึงผู้ผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการสนับสนุนเงินลงทุนในการผลิตไฟฟ้ารูปแบบอื่นๆ แล้ว โดยให้ผู้สนใจยื่นข้อเสนอภายในปี 2551

- ให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ดำเนินการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน สำหรับโรงไฟฟ้าใหม่ของ กฟผ. กำลังการผลิต 81.7 MW และเห็นชอบให้ กฟผ. ยุติการรับซื้อไฟฟ้าจากภาคเอกชนโดยวิธีการเปิดประมูลแข่งขัน โดยให้มีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนผ่านมาตรการสนับสนุนส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ทั้งนี้ให้คงสัดส่วนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเท่ากับ ร้อยละ 5 ของกำลังการผลิตใหม่ตามเดิม

2.1.3.3 สถานการณ์พลังงานทดแทนจากขยะชุมชน

1) ภาพรวมพลังงงานปี 2549

จากการคาดการณ์แนวโน้มเศรษฐกิจไทย ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ รายงานว่าในปี 2549 มีการขยายตัวร้อยละ 5.0 อัตราเงินเฟ้ออยู่ที่ระดับ 4.6 ดุลบัญชีเดินสะพัดเกินดุลเล็กน้อย โดยมีการส่งออกเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญ ในปี 2549 สภาวะทางเศรษฐกิจไทยส่งผลต่อภาพรวมการใช้พลังงานของประเทศ โดยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายอยู่ที่ระดับ 1,051 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 0.4 ส่วนการผลิตไฟฟ้า ปริมาณการผลิตและการรับซื้อของกฟผ. ในปี 2549 มีจำนวน 142,280 KWhr เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 5.6

สำหรับแนวโน้มการใช้พลังงานปี 2550 จากการประมาณการภาวะเศรษฐกิจของไทย ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ คาดว่าในปี 2550 จะขยายตัวร้อยละ 4.0 - 5.0 เนื่องจากราคาน้ำมันแม้จะลดลงแต่ยังคงทรงตัวในระดับสูง ค่าเงิน

บาทแข็ง โดยคาดว่าในปี 2550 จะมีข้อจำกัดด้านการส่งออกและการลงทุนที่ยังไม่ฟื้นตัวเต็มที่ สำนักนโยบายและแผนพลังงานจึงได้ประมาณการภาวะความต้องการพลังงานของประเทศในปี 2550 ภายใต้สมมุติฐานดังกล่าว สรุปได้ว่าความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์คาดว่าจะอยู่ที่ระดับ 1,636 พันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวันเพิ่มขึ้นจากปี 2549 ร้อยละ 5.1

จากแนวโน้มความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวสำนักนโยบายและแผนพลังงานได้ทบทวนแผนอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 3 ในช่วงปี 2550-2554 โดยตั้งเป้าให้ในปี 2554 จะพัฒนาพลังงานหมุนเวียนให้มีสัดส่วนการใช้เป็น 8.3% หรือทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ประมาณ 6,962 ktoe และเสนอในที่ประชุมคณะรัฐมตรีเมื่อวันที่ 16 มกราคม 2550 โดยคณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ครั้งที่ 6/2549 (ครั้งที่ 109) ดังกล่าว

2) การผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชน

สำหรับโครงการพลังงานทดแทนจากขยะชุมชนที่ดำเนินการอยู่ในประเทศไทย (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในหัวข้อ 2.3) มีดังต่อไปนี้

- โรงไฟฟ้าเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต

กรมโยธาธิการเป็นผู้ดำเนินการโครงการโดยใช้เทคโนโลยีเตาเผาชนิดตระกรับแบบเผาไหม้ต่อเนื่อง (Moving Grate Stoker Incinerator) จากประเทศญี่ปุ่น ปริมาณขยะชุมชนที่ระบบสามารถรับได้ 250 ตัน/วัน ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 2.5 MW ปัจจุบันผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโครงการและขายให้การไฟฟ้า

- โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานเทศบาลนครระยอง

เทศบาลนครระยองและมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานเป็นผู้ดำเนินการ โครงการโดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion, AD) ผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากประเทศฟินแลนด์ ปริมาณขยะอินทรีย์ที่ระบบรับได้ 60 ตัน/วัน ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 625 kW ปัจจุบัน เริ่มเดินระบบและนำขยะอินทรีย์เข้าระบบได้เพียง 10-15 ตัน/วัน สามารถจัดการมูลฝอยอินทรีย์ที่มีอยู่ประมาณ 40-50% ของมูลฝอยรวมของจังหวัด และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 5.1 ล้านหน่วย/ปี โดยเทศบาลระยองจะขายไฟฟ้าเข้าระบบได้ประมาณ 4.1 ล้านหน่วย/ปี และผลิตปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 5,000 ตัน/ปี

- โครงการปรับปรุงปริมาณและคุณภาพก๊าซสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เป็นผู้ดำเนินการโครงการโดยใช้เทคโนโลยีการวางท่อรวมรวบก๊าซชีวภาพแบบแนวนอน (Horizontal Collector) จากแหล่งฝังกลบขยะชุมชนกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ปริมาณขยะชุมชนที่เข้าแหล่งฝังกลบ 6,000 ตัน/วัน

ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 870 kW (ขนาด 435 จำนวน 2 เครื่อง) ปัจจุบันอยู่ระหว่างดำเนินการทดสอบเก็บก๊าซ

- โครงการก่อสร้างศูนย์กำจัดมูลฝอยรวม อบจ. ชลบุรี [1]

อบจ.ชลบุรี เป็นผู้ดำเนินการโครงการ โดยใช้เทคโนโลยี ระบบผสมผสานจากประเทศ เยอรมัน ซึ่งประกอบด้วยระบบหมักปุ๋ย (Compost) ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เตาเผาขยะติดเชื้อ และระบบฝังกลบ ปริมาณขยะชุมชนที่ระบบรับได้ 330 ตัน/วัน ที่กำลังการ ผลิตติดตั้ง 1 MW

- โครงการเปลี่ยนขยะชุมชนเป็นพลังงาน จ. เชียงใหม่[2]

เทศบาลนครเชียงใหม่ร่วมกับบริษัทเซปโก จำกัด เป็นผู้ดำเนินการโครงการ โดยใช้ เทคโนโลยีระบบ RCR–STAG, Steam Treatment and Gasification จากประเทศอังกฤษ ปริมาณขยะชุมชนที่ระบบรับได้ 430 ตัน/วัน ที่กำลังการผลิต 10 MW ปัจจุบันอยู่ระหว่างการพัฒนาโครงการ

- โครงการโรงไฟฟ้าราชาเทวะ บริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด

กรุงเทพมหานครว่าจ้าง บริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด เก็บขนและกำจัดโดยการฝังกลบ โดยในพื้นที่ฝังกลบราชาเทวะที่มีการใช้งานเต็มพื้นที่ได้ทำการรวบรวบก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยได้เริ่มขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้านครหลวงตั้งแต่เดือนมีนาคม 2549

อย่างไรก็ตามมีเพียงบางโครงการเท่านั้นที่สามารถผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าได้ซึ่งสามารถสรุปสถานภาพการจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตจากขยะชุมชนได้ดังตารางที่ 2.5 และ ตารางที่ 2.6

---

[1] ศูนย์ได้หยุดเดินระบบเพื่อปรับปรุง ซ่อมแซมตั้งแต่กลางปี 2549 ยังไม่มีกำหนดเปิด

[2] จนถึงเดือนมกราคม 2550 โครงการยังไม่มีความก้าวหน้า

ตารางที่ 2.5 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก (VSPP) กันยายน 2549

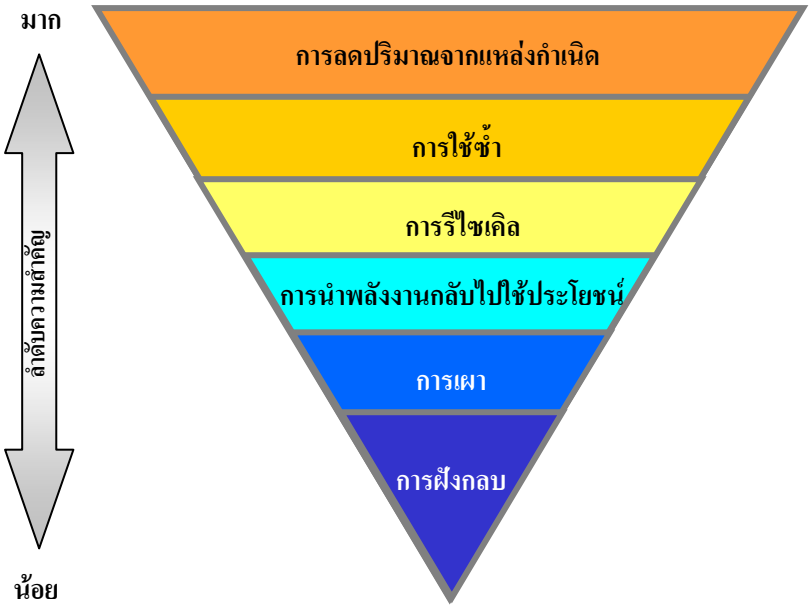
บริษัท/สถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า	ขนาดกำลังการผลิต (kW)	ปริมาณพลังไฟฟ้าสูงสุดที่จะจ่ายเข้าระบบ (kW)	ประเภทโรงไฟฟ้า	ประเภทเชื้อเพลิง	วันแจ้งตอบรับซื้อไฟฟ้า	วันทำสัญญาซื้อไฟฟ้า	วันเริ่มต้นจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ (COD)	หมายเหตุ
โรงไฟฟ้าโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ฯ (ราชการ) อ. เมือง จ. ระยอง	625	500.00	VSPP Biogas	ขยะชุมชน	-	Non-Firm (ตั้งแต่ 25 ธ.ค. 47)	27 ธ.ค. 2547	ขายไฟฟ้าเข้าระบบให้แก่ กฟภ. แล้ว
บ. นวนครการไฟฟ้า จก. 110/9 ม.13 ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี	1,420.00	1,000.00	VSPP Biogas	ขยะชุมชน	-	-	-	-
บ. เจริญสมพงษ์ จก. 142/4 ถ.กิ่งแก้ว ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	1,000	950	VSPP Biogas	แก๊สจากบ่อขยะชุมชน	-	Non-Firm (ตั้งแต่เมษายน 2547)	-	ขายไฟฟ้าเข้าระบบให้แก่กฟน.แล้ว

ตารางที่ 2.6 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก (SPP) กันยายน 2549

บริษัท/สถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า	ขนาดโรงไฟฟ้า (MW)	ปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย (MW)	ประเภทกิจการ	ประเภทเชื้อเพลิง	วันแจ้งผลการพิจารณารับซื้อไฟฟ้า	วันลงนามในสัญญา	อายุสัญญา	วันเริ่มต้นจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ (COD)
เทศบาลนครภูเก็ต อ. เมือง จ. ภูเก็ต	2.500	1.000	SPP โรงเผาขยะชุมชน	ขยะชุมชน	26 เม.ย. 2544	12 ก.ค. 2544	Non - Firm ปีต่อปี และต่อเนื่อง	ขายไฟฟ้าเข้าระบบแล้ว (23 มิ.ย.2546)

2.2 ศึกษาทบทวนเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในต่างประเทศ

ตามแนวทางกลยุทธ์ในการจัดการขยะชุมชน (Solid Waste management strategies) ที่ริเริ่มพัฒนาขึ้นโดย US. EPA. และได้รับการประยุกต์ใช้ในหลายมลรัฐของสหรัฐอเมริกาและหลายประเทศทั่วโลก ได้จัดให้การผลิตพลังงานจากขยะชุมชน (Waste to Energy) หรือการนำพลังงานจากการจัดการของเสียมาใช้ใหม่ (Resource Recovery) เป็นแนวทางกลยุทธ์ในการจัดการขยะชุมชนมีความสำคัญลำดับที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 2.3 รองจาก การลดปริมาณขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด (Source reduction) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) ตามลำดับ การผลิตพลังงานจากของเสียเป็นแนวทางที่สำคัญอีกแนวทางหนึ่งในการลดและแก้ปัญหาขยะชุมชนอย่างยั่งยืน เนื่องจากสามารถลดปริมาณขยะชุมชนที่ต้องกำจัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดการขยะชุมชนโดยกระบวนการที่ใช้ความร้อน (Thermal conversion process) จะสามารถลดปริมาณขยะชุมชนได้ร้อยละ 90 โดยปริมาตรหรือร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก อีกทั้งยังสามารถผลิตพลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้าอีกทางหนึ่ง นอกไปจากนี้ยังสามารถจัดการและควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามมาตรฐานได้ ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตพลังงานจากของเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพ (Biological Conversion Process) เช่น กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์จะช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ เนื่องจากลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 2.3 ลำดับความสำคัญในการจัดการขยะชุมชน (Solid waste management Hierarchy)

เทคโนโลยีทางเลือกในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีหลายเทคโนโลยี ซึ่งอาจแบ่งได้ตามกระบวนการในการแปรรูปขยะชุมชนให้เป็นพลังงาน ได้แก่

กระบวนการที่ใช้ความร้อน (Thermal Conversion Process) เป็นกระบวนการเผาไหม้ขยะชุมชนที่มีค่าความร้อนเหมาะสมทำให้ขยะชุมชนส่วนที่เผาไหม้ได้แปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน นอกจากนั้นยังมีเทคโนโลยีที่อาศัยความร้อนสูงมากกว่า 400 °F ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนในขยะชุมชนให้เป็น synthetic gas สำหรับใช้ในการผลิตพลังงานและกระแสไฟฟ้า และมีสารเคมีอื่นๆ เป็นผลพลอยในการเกิดปฏิกิริยา โดยที่กระบวนการ Thermal process จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และมีอุณหภูมิในระบบมีค่าระหว่าง 371°C ถึง 5,537 °C

กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) เป็นกระบวนการในการแปรรูปขยะชุมชนให้เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นในอุณภูมิต่ำ และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่ากระบวนการที่ใช้ความร้อน โดยที่ขยะส่วนที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องมีความชื้นสูงและสามารถย่อยสลายได้ ได้แก่ เศษอาหาร ขยะอินทรีย์ ใบไม้ กิ่งไม้ บางเทคโนโลยีจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในหลายขั้นตอน ผลผลิตที่ได้มีความหลากหลาย เช่น กระแสไฟฟ้า ปุ๋ยอินทรีย์ หรือสารเคมีอื่นๆ

กระบวนการทางกายภาพ (Physical Conversion Technology) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขยะชุมชน โดยขยะชุมชนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องผ่านการคัดแยก ลดขนาด และทำให้แห้ง หลังจากนั้นจะผ่านกระบวนการบดอัดให้เป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะเป็นแท่ง หรือเม็ด ที่เรียกว่า เชื้อเพลิงแท่ง (Refuse Derived Fuel, RDF)

นอกจากนี้ในการจัดการขยะชุมชนเพื่อผลิตพลังงาน ยังขึ้นกับรูปแบบในการจัดการขยะชุมชน และประเภทของขยะชุมชนที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงาน ได้แก่

ในกรณีที่ไม่มีการคัดแยก สามารถทำได้โดยการผลิตพลังงานหลังจากที่นำขยะชุมชนรวมไปฝังกลบและนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas) มาใช้หรือการผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผา (Incineration or Mass Burning) ซึ่งเป็นการเผาขยะรวมแต่มีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 2,000 Kcal/kg

สำหรับกรณีมีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด ขยะชุมชนเหล่านั้นอาจต้องผ่านกระบวนการคัดแยกระบบโรงงานอีกครั้ง โดยในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ (Recyclable Fraction) เช่น โลหะ อลูมิเนียม เหล็ก แก้ว เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปขาย หรือนำไปรีไซเคิลเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ 2) ส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ (Biodegradable Fraction) หรือขยะอินทรีย์ ซึ่งสามารถผลิตพลังงานผ่านกระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion process) คือ กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic digestion) และ 3) ส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Fraction or Recovered fuel) ซึ่งเป็น

ส่วนที่มีค่าความร้อนสูง ได้แก่ ขยะจำพวกพลาสติก สามารถผลิตพลังงานโดยกระบวนการที่อาศัยความร้อน (Thermal Conversion Process) หรือนำไปใช้ในการผลิตพลังงานความร้อนร่วม เป็นต้น

ในการศึกษาวิจัยนี้ จะรวบรวมข้อมูลด้านเทคโนโลยีทั้งที่ใช้อยู่ในประเทศไทยและในต่างประเทศ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย เทคโนโลยีที่จะทำการศึกษา ประกอบด้วย

- เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic digestion)
- เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas)
- เทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผา (Incineration or Mass Burning)
- เทคโนโลยี Gasification/ Pyrolysis
- เทคโนโลยี Plasma Arc เป็นต้น
- และเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง (Refuse Derived Fuel)

2.2.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

2.2.1.1 บทนำ

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปขยะอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลพลอยได้ในรูปของพลังงานและสารปรับปรุงดิน หรือปุ๋ยอินทรีย์ (Soil Conditioner) จึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในด้านการกำจัดขยะชุมชนในส่วนที่เป็นขยะอินทรีย์ และเป็นทางเลือกในการผลิตพลังงานทดแทนจากขยะชุมชน

ในปี 2544 International Energy Agency: IEA, รายงานว่า มีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวสำหรับการจัดการขยะชุมชนมากกว่า 125 แห่งทั่วโลก รวมทั้งยังมีอีกมากกว่า 35 แห่งที่ยังอยู่ในขั้นตอนการก่อสร้าง นอกจากนี้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังได้รับความนิยมในการบำบัดของเสียอินทรีย์ประเภทอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้รับการพัฒนาในเชิงพาณิชย์โดยขนาดของการใช้งานขึ้นกับขนาดของถังปฏิกิริยาปัจจุบันมีตั้งแต่ขนาด 70 ถึง 5,000 ลูกบาศก์เมตร ถังปฏิกิริยาขนาดเล็กใช้สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ในการผลิตความร้อนหรือเป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่ผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณมากจึงสามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เทคโนโลยีนี้มีพื้นฐานการพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศแถบยุโรป โดยเฉพาะประเทศเยอรมันและประเทศเดนมาร์ก

นอกจากนี้ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังได้รับการสนับสนุนตามกฎหมายในยุโรป เนื่องจากกลุ่มประเทศยุโรปมีเป้าหมายที่จะจำกัดการทิ้งขยะอินทรีย์โดยการฝังกลบให้ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 5 ของขยะชุมชนที่เก็บรวบรวมได้ และมีการจัดเก็บภาษีเมื่อมีการกำจัดโดยการฝังกลบในอัตราสูง จึงเป็นมาตรการสนับสนุนการกำจัดขยะชุมชนด้วยการใช้เตาเผาและการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในส่วนของขยะอินทรีย์ และสืบเนื่องจากมีการกำหนดเป้าหมายที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 15 ภายในปี 2553 ในประเทศเนเธอร์แลนด์ และประเทศอื่นๆ ในยุโรปจึงมีการรับซื้อก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากโรงงานที่ใช้ระบบเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในอัตราพิเศษ เพื่อนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับในประเทศอังกฤษ ภายใต้การบังคับใช้กฎหมาย Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO)

ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้รับความสนใจ คือ ข้อตกลงระหว่างประเทศว่าด้วยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากการฝังกลบเป็นแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ในการปลดปล่อยก๊าซมีเทนไปสู่บรรยากาศ ซึ่งก๊าซ

มีเทนมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming Potential) มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถึง 20 เท่า และในขณะเดียวกันหลายประเทศสนใจที่จะใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อให้ได้รับเครดิตในการลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก เทคโนโลยีนี้จึงได้รับความสนใจอย่างมากจากกลุ่มประเทศดังกล่าว

2.2.1.2 ทฤษฎีและการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

1) กระบวนการทางจุลชีววิทยาของการย่อยสลายของแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในสภาวะไร้อากาศจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์และมีเทน กระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในสภาพแวดล้อมที่มีสารอินทรีย์ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน เช่น ในดินที่มีน้ำท่วมขัง หนอง บึง หรือแม้แต่ในลำไส้ของสัตว์ เป็นต้น

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีกระบวนการที่สลับซับซ้อน และเกิดจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 4 กลุ่ม และสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

Hydrolysis เป็นขั้นตอนที่ Hydrolytic Bacteria ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้กลายเป็นสารอินทรีย์หน่วยย่อย ตัวอย่างเช่น การย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาล สมการทั่วไปแสดงปฏิกิริยาการ Hydrolysis ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) เมื่อสูตรโมเลกุลของสารอินทรีย์โดยประมาณ คือ $C_6H_{10}O_4$ (Themelis and Verma, 2004) แสดงได้ดังนี้

$$C_6H_{10}O_4 + 2H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \qquad (1)$$

Acidogenesis เป็นขั้นตอนที่ Acidogenic Bacteria จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หน่วยย่อยแล้วเปลี่ยนให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน แสดงดังสมการที่ (2) ซึ่งกลูโคลสถูกย่อยสลายเป็นเอทานอล และในสมการที่ (3) ซึ่งกลูโคลสถูกย่อยสลายเป็นกรดโพรพิโอนิก

$$C_6H_{12}O_6 \longleftrightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2 \qquad (2)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \longleftrightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2\,H_2O \qquad (3)$$

Acetogenesis ซึ่งเป็นกระบวนการที่ Acetogenic Bacteria จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ ให้กลายเป็นกรดอะซิติก หรือเกลืออะซิเทต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน รวมทั้งมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และโฮโดรเจนออกมามากขึ้น

สมการสำคัญที่เกิดในปฏิกิริยา Acetogenesis ได้แก่ การย่อยสลายโพรพิโอเนตให้เป็นเกลืออะซิเทต (4) และการย่อยสลายกลูโคส (5) เอทานอล (6) ไบคาร์บอเนต (7) ให้กลายเป็นกรดอะซิติก หรือเกลืออะซิเทต

$$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \longleftrightarrow CH_3COO^- + H^+ + HCO_3^- + 3H_2 \quad (4)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longleftrightarrow 2CH_3COOH + 2\,CO_2 + 4H_2 \quad (5)$$

$$CH_3CH_2OH + 2H_2O \longleftrightarrow CH_3COO^- + 2H_2 + H^+ \quad (6)$$

$$HCO_3^- + 4H_2 + H^+ \longleftrightarrow CH_3COO^- + 4H_2O \quad (7)$$

Methanogenesis คือขั้นตอนที่ Methanogenic Bacteria จะเปลี่ยนกรดอะซิติก เกลืออะซิเทตให้กลายเป็นมีเทน รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนบางส่วนก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทนด้วย โดยกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเทต จะเป็นสารประกอบที่มีความสำคัญสำหรับการสร้างมีเทนมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 70 ของมีเทนที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนรูปมาจากกรดอะซิติก หรืออะซิเตทดังสมการ (8) และ (9) แอลกอฮอล์ (10) ในขณะที่ส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนรูปมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน (11) และกรดระเหยง่ายอื่นๆ

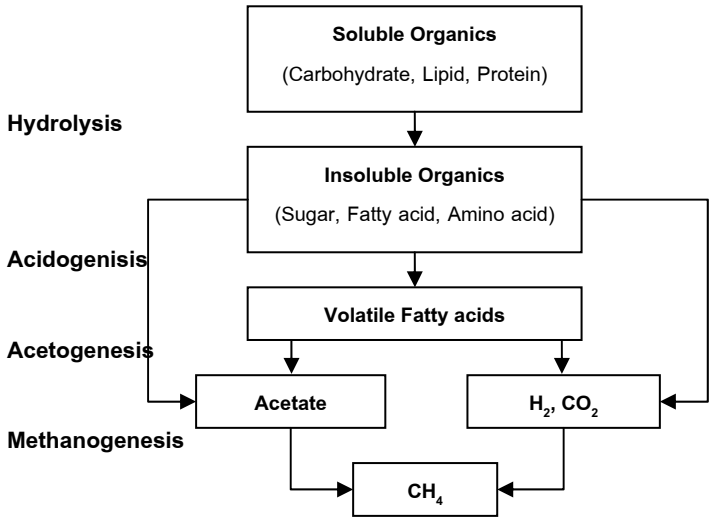
$$2CH_3CH_3OH + CO_2 \longleftrightarrow 2CH_3\,COOH + CH_4 \quad (8)$$

$$CH_3COOH \longleftrightarrow CH_4 + CO_2 \quad (9)$$

$$CH_3OH + H2 \longleftrightarrow CH_4 + H_2O \quad (10)$$

$$CO_2 + 4H_2 \longleftrightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (11)$$

ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนข้างต้น สามารถสรุปได้ดัง ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการชีวเคมีของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา: IEA Bioenergy (2001), Garcia-Heras (2003) และ White (2004)

ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่จะได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะขึ้นกับองค์ประกอบและการย่อยสลายได้ (Biodegradability) ของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ แต่อัตราในการเกิดก๊าซจะขึ้นกับปริมาณของแบคทีเรีย สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต และระดับอุณหภูมิในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 3 °C จนถึงประมาณ 70 °C โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงอุณหภูมิ คือ

- ช่วงอุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic) คือ ช่วงของอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 °C
- ช่วงอุณหภูมิระดับปานกลาง (Mesophilic) คือ ช่วงของอุณหภูมิระหว่าง 20 °C ถึง 40 °C
- ช่วงอุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic) คือ ช่วงของอุณหภูมิระหว่าง 40 °C ถึง 70 °C

ที่อุณหภูมิต่ำการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะต่ำมาก และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นอุณหภูมิระดับปานกลาง และอุณหภูมิระดับสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 35 ถึง 40 °C และ 50 ถึง 55 °C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเกิดก๊าซแอมโมเนียก็จะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน รวมทั้งการเกิดก๊าซมีเทนลดลงหรือถูกยับยั้งได้ (GTZ, 2003)

2) การใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้รับการพัฒนาและนำไปใช้ในงานหลายด้าน โดยในช่วงเริ่มแรกของการใช้เทคโนโลยีนี้จะใช้ ในการบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และบำบัดมูลสัตว์ต่างๆ ในปัจจุบันได้พัฒนาให้สามารถบำบัดขยะชุมชน ขยะอินทรีย์จากอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

2.1) กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

มีการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียกันอย่างแพร่หลายในประเทศที่พัฒนาแล้ว เนื่องจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถกำจัดเชื้อโรคและลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากกากตะกอนได้ นอกจากนี้สำหรับระบบที่มีขนาดใหญ่ก็ยังสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนได้อีกด้วย

2.2) ของเสียจากการเกษตร

มีการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดของเสียจากภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะมูลสัตว์จากฟาร์มอย่างแพร่หลายทั่วโลก เช่น ประเทศเนปาลซึ่งมีการประมาณ 47,000 แห่ง ประเทศจีนประมาณ 6,000,000 แห่ง โดยก๊าซชีวภาพที่ได้ส่วนใหญ่จะ

นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม และให้แสงสว่างสำหรับบ้านเรือน สำหรับในประเทศที่พัฒนาแล้วก๊าซชีวภาพที่ได้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน (IEA Bioenergy, 2001)

2.3) ของเสียจากอุตสาหกรรม

ในประเทศที่พัฒนาแล้วการกำจัดขยะอินทรีย์จากอุตสาหกรรมโดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อกำหนดทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เคร่งครัดมากขึ้น นอกจากนี้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะช่วยลดต้นทุนและขนาดของระบบบำบัดลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อากาศเพียงอย่างเดียว และยังให้ผลพลอยได้เป็นพลังงาน และช่วยลดต้นทุนในการกำจัดกาก รวมทั้งยังสามารถช่วยยกระดับภาพลักษณ์ของอุตสาหกรรมให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการกำจัดของเสียจะสะท้อนถึงความใส่ใจในสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมนั้นๆ

2.4) ขยะชุมชน

แม้ว่าคำนิยามและองค์ประกอบของขยะชุมชน (Municipal Solid Waste) ของแต่ละประเทศจะแตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปขยะชุมชนหมายถึง ขยะที่เกิดจากกิจกรรมของชุมชน ซึ่งมีลักษณะองค์ประกอบที่หลากหลาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งได้แก่ เศษผัก ผลไม้ เศษหญ้า เศษใบไม้ และเศษอาหาร เป็นต้น
- ขยะที่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งได้แก่ ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้า เช่น ไม้ หรือสารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก กระดาษ เป็นต้น
- ขยะอื่นๆ หรือวัสดุเฉื่อยซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึง ก้อนหิน ทราย แก้ว กระเบื้อง และโลหะ เป็นต้น

ขยะชุมชนที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดโดยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย โดยในแต่ละประเทศหรือแต่ละภูมิภาคจะมีคุณภาพและสัดส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปขยะชุมชนจะมีขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 40-70

การบำบัดขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายมีทางเลือกอยู่ 2 ทาง คือ การนำไปหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ (Aerobic Composting) และการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งทั้งสองระบบเป็นการแปรรูปขยะอินทรีย์ที่ให้ผลผลิตสุดท้ายที่เป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Compost or Soil Conditioner) เช่นเดียวกัน แต่ระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศจะเป็นระบบที่ต้องใช้พลังงาน (Energy-Consuming Process) โดยจะใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 50 ถึง

75 KWh/ตันขยะอินทรีย์ที่บำบัด ในขณะที่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะให้ผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ดังนั้น การแปรรูปขยะอินทรีย์ด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะให้พลังงานสุทธิเฉลี่ยประมาณ 75 ถึง 100 KWh/ตันของขยะอินทรีย์ที่บำบัด

3) ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนสำคัญของการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการแปรรูปขยะชุมชน ประกอบด้วย

(1) กระบวนการขั้นต้น

กระบวนการขั้นต้นของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการคัดแยก (Sorting) และการลดขนาด (Size Reduction) โดยแต่ละขั้นตอนในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอาจมีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ในการออกแบบและการใช้งานที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามในกระบวนการขั้นต้นนี้ หากสามารถคัดแยกขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดซึ่งจะทำได้ง่ายกว่า มีต้นทุนต่ำกว่า จะช่วยให้กระบวนการทั้งระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

(1.1) ระบบคัดแยก (Sorting) เนื่องจากขยะชุมชนมีองค์ประกอบที่หลากหลาย แม้จะมีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดก็ยังมักพบว่ามีขยะประเภทอื่นปะปนมาด้วย ดังนั้นระบบคัดแยกในโรงงานจึงมีความจำเป็นเพื่อคัดเอาวัสดุที่ไม่เหมาะสมออก เช่น เศษแก้ว พลาสติก โลหะ หิน และขยะที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถป้อนเข้าระบบได้ โดยทั่วไประบบคัดแยกที่เหมาะกับระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมี 2 ประเภท ได้แก่

(1.1.1) ระบบคัดแยกแบบแห้ง (Dry Separation) ประกอบด้วยเครื่องจักรอุปกรณ์สำคัญ ได้แก่ เครื่องเปิดถุง (Bag Opener) ตะแกรงคัดแยกแบบ Drum Screen หรือ Rotating Pulverizing Screen และ เครื่องแยกเหล็ก (Magnetic Separator) ร่วมกับการคัดแยกด้วยแรงงาน (Hand Sorting) เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่สำคัญในการคัดแยกแบบแห้ง คือ ตะแกรงคัดแยกขยะ ซึ่งสามารถคัดแยกขยะอินทรีย์ออกขยะชุมชนรวมได้โดยอาศัยความแตกต่างของขนาด (ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น เศษอาหาร ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก)

การคัดแยกแบบแห้งมีข้อดี คือ สามารถคัดแยกวัสดุรีไซเคิลที่มีคุณภาพได้และนำขยะอินทรีย์ที่คัดแยกได้เข้าสู่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ก็มีข้อด้อย คือ ต้องมีอุปกรณ์สำหรับลดขนาด และต้องให้ความชื้นแก่ขยะอินทรีย์เพิ่มก่อนป้อนเข้าระบบ

(1.1.2) การคัดแยกแบบเปียก (Wet Separation) ใช้หลักการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะอินทรีย์โดยใช้วิธีการจม-ลอย (Sink-Float Separation) อุปกรณ์สำคัญ

ในการคัดแยกแบบเปียก คือ เครื่องปั่นเยื่อ หรือเรียกว่า Pulper (BTA-Process, ประเทศเยอรมันใน ภาพที่ 2.5) ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายเครื่องเตรียมเยื่อกระดาษ หรือ การใช้ Floating Tank, Wet Shredder และ Hydro-crusher (Arrowbio Process,ประเทศอิสราเอล) ซึ่งจะเป็นถังจม-ลอยที่สามารถแยกขยะเบา(Light Reject) เช่น เศษพลาสติก และขยะหนัก (Bottom Reject) เช่น ทราย กระเบื้อง โลหะ ออกจากขยะอินทรีย์ และเครื่องย่อยขยะที่ใช้น้ำเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย (Wet Shredder) ร่วมกับการใช้ Hydrocrusher ซึ่งจะมีการฉีดน้ำแรงดันสูงเพื่อให้เกิดแรงเฉือน ทำให้สารอินทรีย์ที่เริ่มเปื่อยยุ่ยแต่ยังจับตัวกันเป็นก้อนเกิดการแยกตัวออกจากกัน จนมีลักษณะคล้ายเส้นใย ซึ่งเมื่อพักไว้ก็จะแยกชั้นเป็น ตะกอนเหลวแยกออกจากสิ่งปะปนอื่นๆ

สำหรับการคัดแยกแบบเปียกมี ข้อดี คือ จะเป็นทั้งระบบคัดแยก และลดขนาดของขยะอินทรีย์ อีกทั้งขยะอินทรีย์ที่ได้จะมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ขยะอินทรีย์ที่เตรียมได้จากการคัดแยกแบบแห้ง เนื่องจากมีความชื้นสูง ส่วนข้อด้อยของการคัดแยกแบบเปียกก็คือ ขยะที่เตรียมได้จะมีลักษณะเป็นตะกอนเหลวไม่เหมาะสำหรับนำไปหมักในระบบหมักแบบใช้อากาศ รวมทั้งไม่สามารถคัดแยกวัสดุรีไซเคิลได้อย่างสมบูรณ์ เพราะไม่สามารถคัดแยกกระดาษได้และวัสดุรีไซเคิลที่คัดแยกได้มีการปนเปื้อนและไม่มีคุณภาพที่จะนำกลับมาใช้ใหม่

ภาพที่ 2.5 Hydro Pulper อุปกรณ์สำหรับการคัดแยกขยะแบบ Wet Separation Process

ที่มา: www.canadacomposting.com/hydropulper.htm

หากพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะอินทรีย์ เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า การคัดแยกแบบเปียกสามารถคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะอินทรีย์ได้ดีกว่าการคัดแยกแบบแห้งซึ่งมักจะมีสิ่งปะปน เช่น เศษพลาสติก เศษแก้ว และทรายหลงเหลืออยู่ใน

วัสดุปรับสภาพดินเสมอ อย่างไรก็ตามการคัดแยกแบบเปียกก็มักจะมีต้นทุนค่าเครื่องจักรอุปกรณ์และมีค่าดำเนินการสูงกว่าการคัดแยกแบบแห้ง ดังนั้นการเลือกใช้ระบบคัดแยกให้เหมาะสมก็จะขึ้นกับความพร้อมทางด้านการเงิน และข้อกำหนดเฉพาะของขยะอินทรีย์ ระบบการคัดแยกด้วยเครื่องจักรและคนแสดงดังภาพที่ 2.6 และ 2.7

ภาพที่ 2.6 ตะแกรงคัดแยกขยะ แบบ Drum Screen
ที่มา: โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง

ภาพที่ 2.7 การคัดแยกขยะชุมชนโดยใช้คนคัดแยก (Hand Sorting)
ที่มา: โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง

(1.2) การลดขนาดขยะอินทรีย์ (Particle Size Reduction)

การลดขนาดขยะอินทรีย์มีความจำเป็นสำหรับระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อให้มีขยะอินทรีย์มีขนาดสม่ำเสมอ และเหมาะสมสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ป้อนขยะอินทรีย์ เช่น เครื่องสูบต่างๆ เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดขนาดอาจจะเป็น

เครื่องย่อยขยะชนิด Hammer Mill หรือ Shredder หรือ Pulper ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดเฉพาะในการออกแบบระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในแต่ละระบบ

ภาพที่ 2.8 อุปกรณ์การบดย่อยขยะอินทรีย์

ที่มา: โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง

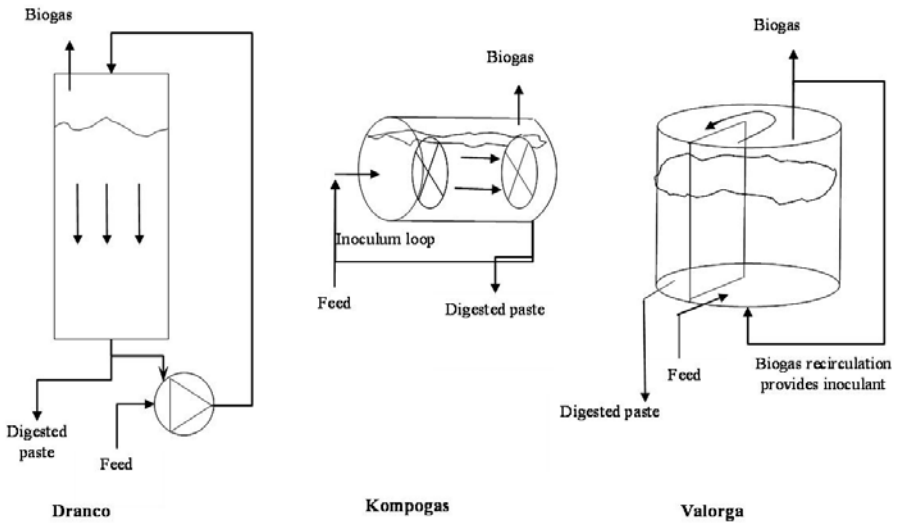
(2) การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้ในการแปรรูปขยะชุมชนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ตามปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ได้แก่

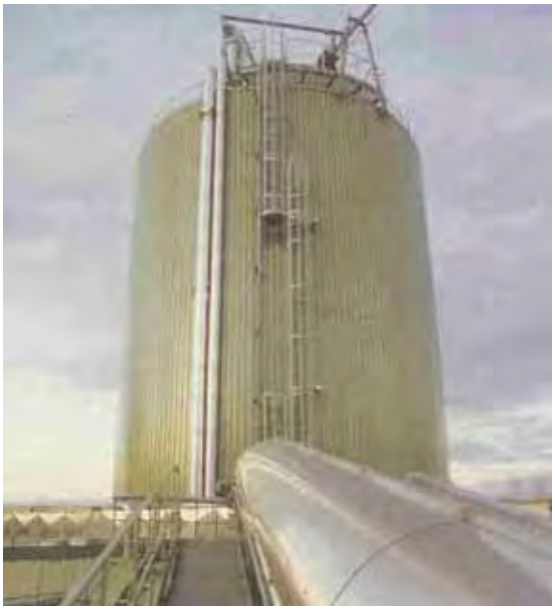
(2.1) Dry Digestion Process ซึ่งจะมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Total Solid Content, TS) ร้อยละ 20 ถึง 40 โดยสามารถแบ่งย่อยได้เป็น Dry Continuous Digestion Process, Dry Batch Process และ Leach-bed Process โดยแต่ละระบบข้างต้นจะมีหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังต่อไปนี้

(2.1.1) Dry Continuous Digestion Process คือ ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีการป้อนสารอินทรีย์ซึ่งมีความเข้มข้นสูงประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 เข้าสู่ถังปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง และมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้อยมาก โดยถังปฏิกิริยาอาจออกแบบเป็นถังกวนแบบสมบูรณ์ (Completely-mixed Digester) หรือเป็นแบบ Plug-flow Digester ซึ่งหากเป็นการออกแบบเป็นแบบ Plug-flow Digester ก็จะต้องมีการหมุนเวียนเอาตะกอนเหลวที่ย่อยสลายแล้วจากถังปฏิกิริยามาใช้เป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับขยะอินทรีย์ที่ถูกป้อนเข้าไปใหม่ และไม่ว่าการออกแบบถังปฏิกิริยาจะเป็นแบบใดก็จะมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้อยมาก จึงทำให้เกิดความร้อนภายในถังปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ได้พลังงานความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง และเหมาะสมสำหรับการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับสูงที่ประมาณ 50 ถึง 55 °C มากกว่าการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับปานกลางที่ประมาณ 35 ถึง 40 °C

ตัวอย่างของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีหลักการออกแบบเป็นแบบ Continuous Process ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ถึง 2.11 ได้แก่



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบ Dry Continuous Digestion Process
ที่มา: ดัดแปลงจาก Mata-Alvarez J., 2003



ภาพที่ 2.10 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน DRANCO Process ที่เมือง Salburg ออสเตรีย
ที่มา: Organic Waste system, N.V.

ภาพที่ 2.11 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน VALORGA Process ในประเทศฝรั่งเศส
ที่มา: http://ww.biogaswork.com

(2.1.2) Dry Batch Digestion Process ซึ่งเป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ออกแบบโดยอาศัยหลักการของการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล นั่นคือ เป็นการป้อนขยะอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักแบบกะ (Batch) แล้วทำการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งก็คือกากที่เหลือจากการย่อยสลายจากกะก่อนหน้าเข้าไปในถังปฏิกิริยา จากนั้นจะปิดถังปฏิกิริยาให้สนิทแล้วปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้เกิดน้ำชะขยะ (Leachate) ที่ไหลลงสู่ก้นถังซึ่งจะถูกหมุนเวียนกลับขึ้นไปใช้ฉีดพ่นขยะอินทรีย์ที่อยู่ส่วนบนเพื่อรักษาความชื้นให้สม่ำเสมอ และเป็นการกระจายกรดอินทรีย์ระเหยง่าย รวมทั้งกระจายแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนให้สัมผัสกับขยะอินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกิริยาอย่างทั่วถึง และเมื่อการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วก็จะเปิดถังเพื่อเอากากที่ย่อยสลายแล้วออกไป และเติมขยะอินทรีย์ใหม่เข้าไปแทน

ระบบนี้มีข้อดี คือ สามารถลดขั้นตอนการเตรียมสภาพขยะอินทรีย์ และลดจำนวนเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเดินระบบได้ แต่จะมีข้อเสีย คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จะไม่คงที่ และต้องทำการบำบัดขั้นหลังเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารปรับปรุงคุณภาพดิน โดยใช้การหมักแบบใช้อากาศเพื่อปรับสภาพ หรือการใช้ตะแกรงเพื่อคัดแยกสิ่งปะปนออกจากสารปรับปรุงคุณภาพดินเป็นต้น

ตัวอย่างของระบบที่มีการออกแบบเป็นแบบ Dry Batch Digestion Process ได้แก่ BIOCEL Process ของประเทศเนเธอร์แลนด์

(2.1.3) Leach-bed Digestion Process มีหลักการในการออกแบบทั่วไปคล้ายคลึงกับ Dry Batch Digestion Process แต่จะมีข้อแตกต่างกัน คือ มีการแลกเปลี่ยนน้ำชะขยะจากถังปฏิกิริยาถังแรกที่เกิดการย่อยสลายแล้วไปยังถังปฏิกิริยาถังที่สองที่มีการป้อนขยะอินทรีย์เข้าไปใหม่ เพื่อเป็นการเริ่มเดินระบบ (Start-up) และเติมจุลินทรีย์ในถังใหม่ รวมทั้งเป็นการกำจัดกรดระเหยง่ายบางส่วนจากถังปฏิกิริยาถังแรกที่กำลังเกิดกระบวนการย่อยสลาย เพื่อลดการสะสมของกรดระเหยง่ายที่เรียกว่า สภาพเปรี้ยว (Sour Condition) ซึ่งอาจยับยั้งการทำงานของ จุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนได้ โดยการแลกเปลี่ยนน้ำชะขยะจะดำเนินไปเช่นนี้จนกระทั่งในถังปฏิกิริยาถังแรกเริ่มมีการผลิตก๊าซมีเทน จึงจะหยุดการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แต่จะหมุนเวียนน้ำชะขยะจากถังที่สองไปยังถังที่สามต่อไปอีก ซึ่งหลักการดังกล่าวอาจจะเรียกว่า “การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบกะต่อเนื่อง (Sequential Batch Anaerobic Digestion)” ก็ได้

(2.2) Wet Digestion Process มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 15 ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็น Single Stage Digestion Process, Wet Continuous Digestion Process และ Multi-stage Digestion Process โดยแต่ละระบบข้างต้นจะมีหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังต่อไปนี้

(2.2.1) Wet Continuous Digestion Process (Single-stage Digestion Process) ระบบนี้มีการเติมน้ำปริมาณมากเข้าสู่ระบบ โดยจะป้อนขยะอินทรีย์ที่ถูกเตรียมสภาพให้มีลักษณะเป็นของเหลวหรือตะกอนเหลว (Slurry) ซึ่งมีปริมาณของแข็ง (TS Content) ประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 เข้าสู่ถังปฏิกิริยา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบถังกวนสมบูรณ์ (Completely mixed Digester) ซึ่งมักจะมีขั้นตอนการเตรียมขยะอินทรีย์ที่สามารถกำจัดสิ่งเจือปนที่อยู่ก้นถัง (Bottom Reject) ออกไปก่อนที่จะป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการสะสมบริเวณก้นถังปฏิกิริยา และเมื่อตะกอนเหลวผ่านการย่อยสลาย อย่างสมบูรณ์แล้วก็จะมีการบำบัดขั้นหลัง โดยการรีดน้ำออกจากกากตะกอนแล้วทำการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในระบบต่อไป เพื่อลดภาระการกำจัดน้ำเสียในปริมาณมาก ระบบนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับใช้ในการหมักร่วม (Co-digestion) ระหว่างขยะอินทรีย์กับของเสียชนิดอื่นที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำกว่า เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย หรือมูลสัตว์จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ต่างๆ

ตัวอย่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ออกแบบระบบเป็นแบบ Single-stage Process (Wet Continuous Process) เช่น

- AVECOM Process ของประเทศฟินแลนด์
- Herning Process ของประเทศเดนมาร์ก
- ITALBA Process ของประเทศอิตาลี
- Roediger Process ของประเทศเยอรมัน

• WABIO Process ของประเทศฟินแลนด์

(2.2.2) Multi-stage Wet Digestion Process คือ ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งขยะอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการเตรียมสภาพเรียบร้อยแล้วถูกป้อนเข้าสู่ถังหมักกรด (Acid Digester) ที่ซึ่งมีจุลินทรีย์พวก Hydrolytic Bacteria และ Fermentative Bacteria คอยทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Acid, VOA) ก่อนจะถูกส่งไปยังถังหมักก๊าซ ถังหมักก๊าซในระบบนี้มักจะเป็นแบบ Anaerobic Filter หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ก็ได้ ซึ่งการออกแบบระบบเช่นนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์แต่ละประเภท และทำให้ได้ผลผลิตก๊าซมีเทนสูงขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะเจริญเติบโตได้ช้ากว่า และต้องการสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าพีเอชที่แตกต่างกับจุลินทรีย์ที่สร้างกรด ซึ่งมีขั้นตอนในการทำงานยุ่งยากซับซ้อนกว่า Single-stage Digestion Process

ตัวอย่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีการออกแบบระบบเป็นแบบ Multi-stage Anaerobic Digestion ตัวอย่างระบบแสดงดังภาพที่ 2.12 ได้แก่

• ArrowBio Process ของประเทศอิสราเอล
• BTA Process ของประเทศเยอรมัน
• EBC Process ของประเทศเยอรมัน
• Paques Process ของประเทศเนเธอร์แลนด์
• Rottaler Model ของประเทศเยอรมัน
• TBW Process ของประเทศเยอรมัน

ภาพที่ 2.12 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน Paques Process ประเทศบราซิล
ที่มา: http://www.biogasworks.com

นอกจากการแบ่งระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามคุณภาพสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังสามารถแบ่งประเภทได้ตามช่วงอุณหภูมิที่เดินระบบ (Operating Temperature) ได้แก่

- Mesophilic Digestion Process ซึ่งเป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเดินระบบที่อุณหภูมิระดับปานกลาง ประมาณ 35 ถึง 40 °C

- Thermophilic Digestion Process ซึ่งเป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่อุณหภูมิระดับสูง ประมาณ 50 ถึง 55 °C

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแต่ละรูปแบบข้างต้นต่างมีจุดเด่นและจุดด้อยในตัวเอง และยากที่จะเปรียบเทียบชี้ชัดในเชิงปริมาณและตัดสินว่าระบบรูปแบบใดดีหรือเด่นกว่ารูปแบบอื่นๆ การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนรูปแบบใดจะขึ้นกับสภาพการณ์ต่างๆ สำหรับแต่ละกรณี แต่ในเบื้องต้นนี้ที่ปรึกษาได้สรุปเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบแต่ละรูปแบบเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อไป โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่าง Dry Digestion Process และ Wet Digestion Process เป็นดังตารางที่ 2.7 ส่วนรายละเอียดการเปรียบเทียบระหว่าง Mesophilic Digestion Process และ Thermophilic Digestion Process เป็นดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Dry และ Wet Digestion Process

รายละเอียด	Wet Digestion Process	Dry Digestion Process
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	10%<TS<20%	TS>20%
ลักษณะของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	Liquid Suspension	Solid
Digestion Volume	มากกว่า	น้อยกว่า
อุณหภูมิในการเดินระบบ	Mesophilic และ Thermophilic Band	ส่วนใหญ่ Thermophilic Band
ความจำเป็นที่ต้องมีระบบAerobic Composting ในการบำบัดขั้นหลัง	ส่วนใหญ่ไม่จำเป็น (หาก Retention Time เหมาะสม)	ส่วนใหญ่จำเป็น
ปริมาณน้ำทิ้ง	มากกว่า	น้อยกว่า

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Mesophilic Process และ Thermophilic Process

รายละเอียด	Mesophilic Process	Thermophilic Process
อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเดินระบบ	35±2 °C	55±2 °C
การควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและ Organic Loading ที่เหมาะสม	ง่ายกว่า	ยากกว่า
การกัดกร่อนถังและท่อ	น้อยกว่า	มากกว่า
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ	น้อยกว่า	สูงกว่า
พลังงานที่ใช้ในระบบ	น้อยกว่า	มากกว่า
พลังงานสุทธิที่ได้ผลิตได้จากระบบ	สูงกว่า	น้อยกว่า
การกำจัดเชื้อโรคในกากตะกอนที่เหลือจากระบบ	ต้องมีระบบฆ่าเชื้อโรค (หากเป็นSingle-stage AD)	ไม่จำเป็น (หากGMRT/HRT เหมาะสม)*

หมายเหตุ: * GMRT = Minimum Guaranteed Retention Time, HRT = Hydraulic Retention Time

(3) การบำบัดขั้นหลัง (Back-end Treatment)

การบำบัดขั้นหลังจะเกิดขึ้นหลังจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเสร็จสิ้นแล้ว ในกรณีที่ระบบเป็นแบบ Wet Anaerobic Digestion Process ตะกอนเหลวที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว (Digestate) จะถูกส่งไปยังระบบฆ่าเชื้อโรค (Hygienization Process) จากนั้นก็สามารถนำไปใช้โดยตรงในพื้นที่เพาะปลูกในรูปของปุ๋ยน้ำ (Liquid Fertilizer) แสดงดังภาพที่ 2.13 หรือจะนำมาแยกน้ำออกโดยใช้เครื่องรีดน้ำจากกากตะกอน (Mechanical Dryer) เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งและน้ำออกจากกัน แล้วจะนำเอาส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) แสดงดังภาพที่ 2.14 หลังจากนำไปพักไว้ 2 ถึง 4 สัปดาห์ เพื่อให้คงสภาพ (Stable) ก่อนนำไปใช้ ส่วนที่เป็นน้ำที่เกิดจากการรีดกากตะกอนก็จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ในระบบ สำหรับน้ำส่วนเกินก็จะถูกส่งไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

สำหรับระบบที่เป็นแบบ Dry Digestion Process โดยทั่วไปการบำบัดขั้นหลังจะเป็นการรีดน้ำออกจากตะกอนเหลวแล้วนำส่วนที่เป็นของแข็งไปหมักแบบใช้อากาศ เพื่อปรับสภาพ (Maturation) ให้การย่อยสลายสารอินทรีย์สมบูรณ์มากขึ้น และส่วนที่เป็นของเหลวก็จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ในระบบหรือนำไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง

ภาพที่ 2.13 การนำ Digestate จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปใช้ในรูปของปุ๋ยน้ำ
ที่มา: IEA Bioenergy (1996)

ภาพที่ 2.14 สารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ที่มา: IEA Bioenergy (2001)

4) ตัวแปรและปัจจัยที่ต้องควบคุมในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Parameters and Process Optimization)

เนื่องจากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่อาศัยการทำงานของสิ่งมีชีวิต ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มต่างๆ จึงทำให้มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและมีความสำคัญต่อการเดินระบบ ตัวแปรเหล่านั้น ได้แก่

4.1) อุณหภูมิ (Temperature)

โดยทั่วไประบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำงานมีประสิทธิภาพในช่วงอุณหภูมิสองระดับ ได้แก่ การทำงานที่อุณหภูมิระดับปานกลาง (Mesophilic) 35 ถึง 40 °C และการทำงานที่อุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic) 50 ถึง 55 °C อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิประมาณ 45 °C อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลง เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทั้งที่ชอบอุณหภูมิระดับปานกลาง (Mesophilic Bacteria) และแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic Bacteria) สำหรับประเทศไทย การเดินระบบที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 45 °C จะต้องใช้พลังงานจากภายนอกเพื่อให้ความร้อนกับถังปฏิกิริยา ดังนั้นการเลือกใช้อุณหภูมิระดับปานกลางในการเดินระบบ จึงถือได้ว่าเป็นหนทางที่ได้จะพลังงานสุทธิจากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่าการเดินระบบระบบที่อุณหภูมิระดับสูง อย่างไรก็ตาม สามารถออกแบบระบบควบคุมระดับอุณภูมิโดยอาศัยก๊าซมีเทนที่ผลิตได้นำมาใช้ให้ความร้อนระหว่างเดินระบบได้

แบคทีเรียในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของ

อุณหภูมิในระหว่างวัน และอุณหภูมิตามช่วงฤดูกาล ซึ่งจะมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดก๊าซมีเทน ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในการเดินระบบให้คงที่จึงมีความจำเป็นต่อระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับปานกลางจะต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ± 1 °C ต่อชั่วโมง และสำหรับการเดินระบบที่อุณหภูมิระดับสูงจะต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ± 0.5 °C ต่อชั่วโมง ไม่เช่นนั้นการทำงานของแบคทีเรียในการผลิตมีเทนอาจถูกยับยั้งได้

4.2) ค่าพีเอช และสภาพความเป็นด่าง (pH and Alkalinity)

ในการเดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ค่าพีเอช ในการเดินระบบควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 6.6 ถึง 7.8 โดยพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน จะอยู่ในช่วง 7 ถึง 7.2 ในกรณีที่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบ (Organic Loading Rate) มากเกินไป จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่าย หรือมีปริมาณของสารยับยั้งแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาสูงก็จะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน ซึ่งจะทำให้พีเอชในถังปฏิกิริยาลดลงได้ ซึ่งที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.6 จะมีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน และหากค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 ก็จะถือว่าถังปฏิกิริยานั้นล้มเหลว

นอกจากการรักษาระดับค่าพีเอชแล้ว การเดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรมีการตรวจสอบและรักษาระดับสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) ให้อยู่ในช่วง 2,500 ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้เกิดความสามารถรองรับการผันแปรของระบบ (Buffer Capacity) นอกจากนี้การเดินระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำจากระบบมาใช้ในการเตรียมสารอินทรีย์จะช่วยรักษาสภาพด่างในระบบได้อีกทางหนึ่ง

4.3) ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบสามารถแสดงได้ในรูปของปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content) ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบปริมาณของผสม (สารอินทรีย์และน้ำ) ทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid Content) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของถังปฏิกิริยา-วัน ($kgVS/m_r^3$-d) โดยที่ของแข็งระเหยง่ายจะประกอบด้วย ของแข็งระเหยง่ายที่ย่อยสลายได้ง่าย (Biodegradable volatile solids; BVS) และของแข็งระเหยง่ายที่ย่อยสลายยาก (Refractory volatile solids; RVS) ซึ่งการที่ทราบค่า BVS จะสามารถคาดการณ์ความสามารถในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ อัตราการเกิดก๊าซมีเทน อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Organic loading rate; OLD) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ ดังนั้นสารอินทรีย์ที่มี BVS สูง และมีค่า RVS ต่ำเป็นสารอินทรีย์ที่เหมาะแก่การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากที่สุด

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบ Wet Anaerobic Digestion ควรมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในรูปของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS Content) และในรูปของของแข็งระเหยง่ายประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 และ 5 ถึง 7 kgVS/m_r^3-d ตามลำดับ ในขณะที่ระบบที่เป็นแบบ Dry Digestion Process ควรมีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 หรือประมาณ 10 ถึง 20 kgVS/ m_r^3-d ตามลำดับ ทั้งนี้จะต้องมีการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้เหมาะสมเนื่องจากหากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไปก็จะทำให้ไม่เพียงพอต่อการสร้างมีเทน และทำให้ถังปฏิกิริยามีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็นในขณะที่ป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายซึ่งจะมีผลยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน สำหรับระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบต่อเนื่อง

4.4) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้ทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ต่างๆ ซึ่งการศึกษาข้อมูลจำนวนมากพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสร้างและสลาย (Metabolic Activity) ของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 (RISE-AT, 1998) ซึ่งค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่กรณี การที่ระบบมีค่า C/N Ratio สูงแสดงว่า methanogenic bacteria มีการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในอัตราสูงทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนต่ำ ในทางกลับกัน หากระบบมีค่า C/N Ratio ต่ำแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมแอมโมเนียในระบบสูง และมีค่า pH เพิ่มขึ้น ซึ่งหากค่า pH เกินกว่า 8.5 จะเป็นพิษต่อ methanogenic bacteria การควบคุมค่า C/N Ratio ให้เหมาะสมสามารถทำได้โดยการผสมคลุกเคล้าระหว่างสารอินทรีย์ที่มีค่า C/N Ratio สูงและต่ำเข้าด้วยกันก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ เช่น การผสมคลุกเคล้าขยะอินทรีย์กับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย หรือมูลสัตว์ เป็นต้น

4.5) ระยะเวลากักในถังปฏิกิริยา (Retention Time)

ระยะเวลากักเป็นช่วงเวลาที่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดซึ่งขึ้นกับ อุณหภูมิของระบบ ชนิด คุณภาพ และปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ตลอดจนรายละเอียดของเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบ นอกจากนี้ยังขึ้นกับต้นทุน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน เนื่องจากขนาดของถังปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจะหมายถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นค่าก่อสร้างถัง ค่าอุปกรณ์ในการผสมคลุกเคล้า (Mixing) และค่าอุปกรณ์ในการให้ความร้อน ส่วนการออกแบบระบบให้มีระยะเวลากักพักสั้นเกินไปก็จะไม่เพียงพอสำหรับการทำงานของแบคทีเรียในการสร้างมีเทน และทำให้แบคทีเรียถูกระบายออกจากระบบเร็วเกินไป ในขณะที่การออกแบบให้ถังปฏิกิริยามีระยะเวลากักพักมากเกินไป

จะทำให้เกิดการสะสมกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วที่บริเวณก้นถังและทำให้การสูบกากตะกอนออกจากถังทำได้ยาก และทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น โดยทั่วไประบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับขยะอินทรีย์ จะออกแบบให้มีระยะเวลากักพักในถังปฏิกิริยาจะประมาณ 10 ถึง 40 วันสำหรับระบบที่ทำงานในอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic digester) ส่วนระบบที่ทำงานในอุณหภูมิสูง (thermophilic digester) จะมีระยะเวลากักพักสั้นกว่าประมาณ 14 วัน (Verma S., 2002)

4.6) สารอาหาร (Available Nutrient)

แบคทีเรียต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโตเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน นอกจากนี้แบคทีเรียยังต้องการ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โซเดียม โปตัสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นในการเจริญเติบโต อีกทั้งโลหะหนักจำพวก คอปเปอร์ นิคเกิล โครเมี่ยม สังกะสี และตะกั่ว ก็เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียหากมีในปริมาณน้อย หรือในระดับความเข้มข้นต่ำมาก ซึ่งขยะชุมชนจะมีปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้สมดุลและเพียงพออยู่แล้ว และในบางกรณีที่มีสารอาหารเหล่านี้มากเกินไปก็จะยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียได้ ในขณะที่สารอินทรีย์บางประเภทมีสารอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอ ก็จำเป็นต้องเติมสารอาหารให้กับ Feed Substrate ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ

4.7) สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Inhibitory Factors)

ดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.6) สารอาหารต่างๆ และธาตุอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียหากมีความเข้มข้นสูงก็จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ นอกเหนือไปจากโลหะหนัก สารพิษ และสารปฏิชีวนะต่างๆ รวมทั้งสารทำความสะอาดซึ่งใช้ในเลี้ยงสัตว์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นอกจากนี้ สารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย เช่น กรดระเหยง่าย เช่น proprionic acid แอมโมเนีย (ammonium ion) และซัลไฟด์ที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีน ที่ระดับความเข้มข้นสูงก็สามารถยับยังกระบวนการผลิตมีเทนได้เช่นกัน ซึ่งระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่ยังยั้งกระบวนการผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียในแสดงตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ซึ่งยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน

สารยับยั้ง	ระดับความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ทองแดง (Cu)	10-250
แคลเซียม (Ca)	8,000
โซเดียม (Na)	8,000
แมกนีเซียม (Mg)	3,000
นิเกิล(Ni)	100-1,000
สังกะสี (Zn)	350-1,000
โครเมียม (Cr)	200-2,000
ซัลไฟด์ในรูปซัลเฟอร์ (S)	200
ไซยาไนด์ (CN^-)	2
Proprionic Acid	>10[a]
Free ammonia (NH_3)	> 150[a]
Ammonium ions (NH_4^+)	3,000[a]

ที่มา: http://www.gtz.de และ RISE-AT, 1998 [a]

4.8) การคลุกเคล้า (Mixing)

การคลุกเคล้าสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกิริยามีความสำคัญมาก เนื่องจากจะทำให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง เพื่อกระตุ้นการเกิดก๊าซชีวภาพ และเพื่อลดการตกตะกอนของของแข็งบริเวณก้นถัง รวมทั้งเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนลอย (Scum) บริเวณส่วนบนของถัง นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิด Dead Zone และ อุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอทั่วตลอดทั้งถัง (Thermal Stratification) อย่างไรก็ตามอัตราการคลุกเคล้าควรควบคุมในระดับที่เหมาะสมซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของถังปฏิกิริยา และปริมาณสารอินทรีย์ในถังปฏิกิริยา โดยทั่วไปการคลุกเคล้าสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกิริยาสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่

(1) การหมุนเวียนกากตะกอนเหลว (Recirculation of Sludge) ซึ่งกากตะกอนเหลวจะถูกสูบจากบริเวณก้นถังหมักและถูกป้อนกลับไปยังส่วนบนของถัง

(2) การคลุกเคล้าเชิงกล (Mechanical Mixing) ซึ่งเป็นการใช้เครื่องปั่นกวน (Agitator) ซึ่งจะมีแกนหมุนแนวดิ่งอยู่บริเวณแกนกลางของถังปฏิกิริยา และจะมีใบ

กวนแนวขวาง อยู่ในระดับ ต่างๆ ของถัง โดยใบกวนบริเวณส่วนล่างและส่วนบนของถังจะช่วยป้องกันการจับตัวของกากตะกอนบริเวณก้นถังและบริเวณผิวบนของถังได้

(3) การคลุกเคล้าโดยใช้ก๊าซ (Gas Lifting Mixing) โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกิริยาจะถูกรวบรวมจากบริเวณส่วนบนของถัง และส่งผ่านระบบกรองก๊าซและระบบแยกน้ำจากนั้นจะอัดก๊าซที่ความดันต่ำโดยใช้ Gas Compressor แล้วฉีดก๊าซที่อัดแล้ว (Compressed Gas) กลับเข้าไปที่บริเวณก้นถังปฏิกิริยา ซึ่งก๊าซดังกล่าวจะทำให้สารอินทรีย์ถูกยกตัวขึ้นและการเกิดผสมคลุกเคล้ากัน

5) ตัวอย่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ปัจจุบันมีการใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในเชิงพาณิชย์ สำหรับบำบัดของเสียรวม (mix-waste) ขยะอินทรีย์ (bio-waste) และมูลสัตว์เป็นวัตถุดิบไม่น้อยกว่า 15 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุโรปมีขนาดระบบตั้งแต่ 4,000 ถึง 220,000 ตัน/ปี ซึ่งในจำนวนดังกล่าวมีเพียงจำนวนน้อยที่ใช้สำหรับการแปรรูปขยะชุมชนเท่านั้น อย่างไรก็ตามพบว่ามีแนวโน้มว่ามีการใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับแปรรูปขยะชุมชนเพิ่มมากขึ้น ดังตัวอย่างการใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะอินทรีย์ (ปี 2549)

ประเทศ	เมือง	ของเสีย ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	ผู้ผลิต/ระบบ	อุณหภูมิที่ใช้ในการเดินระบบ	ขนาด (ตันต่อปี)	ปีที่เริ่มเดินระบบ
Austria	Selzburg	Biowaste	DRANCO	Thermo	20,000	1993
Belgium	Brecht	Biowaste, Yard	DRANCO	Thermo	12,000	1992
Belgium	Gent	Biowaste, Yard	DRANCO	Thermo	800	1994
Denmark	Arsus	Biowaste, Manure OIW	C.G Jensor	Meso	116,600	1995
Denmark	Blaabjerg	Manure, OIW	BWSC/Bioscan	Thermo	105,000	1996
Denmark	Dewinde	Manure, OIW	Kuger	Meso	15,300	1987
Denmark	Fangel	Manure, OIW	Kuger	Meso	58,800	1989
Denmark	Fiskov	Manure, OIW	NNR	Thermo	26,000	1995
Denmark	Heshoj	Manure, OIW	Kruger	Meso	50,000	1994
Denmark	Helsingor	Manure, OIW	BTA/Cart Bro	Meso	20,000	1991
Denmark	Helsingor	Manure, OIW	NNR	Meso	16,000	1993
Denmark	Lemving	Manure, OIW	BWSC	Thermo	160,600	1992
Denmark	Lintup	Manure, OIW	Krugen/biosoon	Meso	113,900	1990
Denmark	Revnige	Manure, OIW	CH4-Energi/bioscan	Meso	15,300	1989
Denmark	Ribe	Manure, OIW	Kruger	Thermo	125,200	1990
Denmark	Sinding	Biowaste, Manure OIW	Prikam/HKV	Thermo	52,700	1988
Denmark	Skovsgaard	Manure, OIW	Krunger	Meso	20,100	1987
Denmark	Studsgrad	Biowaste, Manure OIW	Prikam/HKV	Thermo	130,000	1996
Denmark	Thorso	Manure, OIW	BWSC	Thermo	100,000	1994
Denmark	Vegger	Biowaste, Manure OIW	Jysk	Meso	18,000	1991
Denmark	Vester Hjermitslev	Manure, OIW	Kruger	Meso	17,200	1984
Finland	Veasa	Mixed Waste Sewage sludge	Avecon/Ecc-Tech	Meso	40,000	1984
France	Amiens	Mixed Waste	Valarga	Meso	55,000	1990
France	Grenable	Mixed Waste	Valarga	Meso	16,000	1988
Germany	Baden-Beden	Biowaste	BTA One-Stage	Thermo	5,000	1984
Germany	Beingen	Sewage Sludge Manure, OIW	Linde-KCA	Thermo	30,000	1993
Germany	Boltrop	Biowaste	ECO –Tec	Meso	6,500	1995
Germany	Bremen	Biowaste	Biothane	Meso	660	1995
Germany	Dietrihsdif	Biowaste	BTA One-slage	Meso	13,000	1990
Germany	Finsterwalde	Biowaste ,Manure	Schwaring UHDE	Thermo	90,000	1995
Germany	Ganderkese	Biowaste	AN Manchinnenu	Meso	3,000	1995

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะอินทรีย์ (ปี 2549) (ต่อ)

ประเทศ	เมือง	ของเสีย ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	ผู้ผลิต/ระบบ	อุณหภูมิที่ใช้ในการเดินระบบ	ขนาด (ตันต่อปี)	ปีที่เริ่มเดินระบบ
Germany	Groden Sosraden	Manure , OIW	Bioscan	Meso	110,000	1995
Germany	Hamburg	Biowaste	ATF	Meso	1,000	1994
Germany	Hamburg	Biowaste	HGG	Meso	1,000	1994
Germany	Finsterwalde	Biowaste ,Mauure	Schwaring UHDE	Thermo	90,000	1995
Germany	Ganderkese	Biowaste	AN Manchinnenu	Meso	3,000	1995
Germany	Groden Sosraden	Manure , OIW	Bioscan	Meso	110,000	1995
Germany	Hamburg	Biowaste	ATF	Meso	1,000	1994
Germany	Hamburg	Biowaste	HGG	Meso	1,000	1994
Germany	Herien	Biowaste	IMK	Meso	500	1994
Germany	Ksubeuren	Biowaste	BTA One-stage	Meso	2,500	1992
Germany	Kepten	Biowaste	Kampogas	Thermo	10,000	1995
Germany	Michselisdonn	Manure, OIW	Kruger	Meso	35,000	1995
Germany	Oldenburg	Biowaste	Biothane	Meso	10,000	1992
Germany	Oldenburg	Manure, OIW	Kruger	Meso	20,000	1992
Germany	Zobes	Biowaste, Mauure OIW	Plauen	Meso	20,000	1998
India	Pune1	Mixed Waste	Paquse	Meso	1,750	1995
Itaiy	Beslia Betlona	Manure, OIW	RPA	Meso	300,000	1982
Itaiy	Bellaria	Mixed Waste	Italba	Meso	4,000	1988
Itaiy	Marscsno	Manure, OIW	SPI	Meso	300,000	1988
Itaiy	Thiene	Manure, OIW	Kiklos	Meso	60,000	1990
Netherlands	Balk1	Mixed Waste	Paquse	Meso	800	1992
Netherlands	Balk1	OIW	Paquse	Meso	600	1993
Netherlands	Balk1	Biowaste	Paquse	Meso	600	1994
Netherlands	Breda1	Biowaste	Paquse	Meso	10,000	1992
Netherlands	Breda	OIW	Vaioga	Meso	25,000	1987
Netherlands	Tilburg	Biowaste	Projektor	Meso	52,000	1994
Sweden	Boras	Biowaste	Projektor	Meso	9,000	1995
Sweden	Heisingbory	Biowaste Manure, OIW	NSR	Meso	80,000	1996
Sweden	Lohol	Manure, OIW	Kuger	Meso	30,000	1992
Sweden	Stockholm	Biowaste	Projektor	Thermo	800	1995
Swilzerland	Beer	Biowaste	BRV	Thermo	6,000	1994
Swilzerland	Bachenbulanch	Biowaste , Yard	Kampogas	Thermo	10,000	1992

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะอินทรีย์ (ปี 2549) (ต่อ)

ประเทศ	เมือง	ของเสีย ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	ผู้ผลิต/ระบบ	อุณหภูมิที่ใช้ในการเดินระบบ	ขนาด (ตันต่อปี)	ปีที่เริ่มเดินระบบ
Swilzerland	Rumstagem	Biowaste, Yard	Kampogas	Thermo	4,000	1995
Swilzerland	Samstagem	Biowaste, Yard	Kampogas	Thermo	10,000	1991
Tahiti	Papeete	Mixed waste	Volorga	Thermo	90,000	1994
UK	Irvine 1	Mixed waste	Moterwell	Thermo	300	1996
UK	Stocckbridge1	Manurefuel Crops	AD Tech	Thermo	160	1991
UK	Stocckbridge1	Manure / Mixed waste	Dobbie	Thermo	100	1996
USA	Bergen,NY	OWI	Larsen/Bergen	Meso	828	1991
USA	Dinwiddie,VA	Mixed Waste	Funnel	Meso	20,000	1995
Austria	Wels	Biowaste	Linde-KC	Meso	15,000	1994
Denmark	Srertinge	Manure,OIW	NNR	Meso	45,000	Construction
Germany	Engelskischen	Biowaste	Valorga	Thermo	35,000	Construction
Germany	Karisruhe	Biowaste	BTA One-stage	Meso	8,000	Construction
Germany	Kiei	Biowaste	Eco-Tec	Meso	20,000	Construction
Germany	Munchen	Biowaste	BTA muill-stage	Meso	25,000	Construction
Germany	Osnabruck	Biowaste	Biosoon	Meso	19,000	Construction
Germany	Schraden	Manure,OIW	Biosoon	Meso	110,000	Construction
Germany	Witmund	Manure,OIW	Kruger	Meso	120,000	Construction
India	Bomday	Mixed Waste	Paques	Meso	150,000	Construction
Netherlands	Lelystad	Biowaste	Biocal	Meso	35,000	Construction
Spein	Alicarte	Mixed Waste	Valorga	Meso	100,000	Construction
Sweden	Bro	Biowaste, OIW	BioSysytem	Meso	5,000	Construction
Sweden	Kill	Biowaste	Enerchem	Meso	3,000	Construction
Sweden	Kristanstad	Biowaste, Manure OIW	Kruger	Meso	50,000	Construction
Sweden	Linkoping	Manure, OIW	Purac	Meso	24,000	Construction
Sweden	Uppsala	Biowaste ,Manure,OIW	EnerChem/Projeter	Thermo	30,000	Construction
Swilzerland	Ottelfingen	Biowaste	Kompoges	Thermo	10,000	Construction
UK	Ashford	Mixed Waste	WMC	Meso	40,000	Construction
USA	Long Beach, CA1	Mixed Waste	NREL	Meso	1,000	Construction

หมายเหตุ: Biowastes หมายถึง ขยะอินทรีย์ที่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิด

Mixed Waste หมายถึง ขยะอินทรีย์ที่มาจากการคัดแยกเชิงกลและการคัดแยกด้วย การสังเกต

OIW หมายถึง ขยะอินทรีย์จากอุตสาหกรรม

Thermo หมายถึง การเดินระบบที่อุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic Temperature)

Meso หมายถึง การเดินระบบที่อุณหภูมิระดับกลาง (Mesophilic Temperature) ที่มา: IEA Bioenergy, (1996)

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่จะนำเสนอ จะเป็นตัวอย่างของระบบที่มีการติดตั้งและใช้งานจริงในปัจจุบัน ซึ่งเป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีระบบคัดแยกและเตรียมสภาพขยะทั้งที่เป็น Wet Separation Process และ Dry Separation Process อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลตัวอย่างระบบที่นำเสนอมาจากข้อมูลเผยแพร่ของผู้ผลิต ดังนั้นข้อมูลบางส่วน เช่น ข้อมูลปริมาณ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพ พลังงานที่ได้และที่ใช้ในระบบไม่มีการระบุสมมุติฐานให้ชัดเจน ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวจึงไม่เพียงพอสำหรับมาใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อตัดสินใจว่าระบบใดเหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน

5.1) DRANCO Process

DRANCO Process เป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเป็น ลิขสิทธิ์ของ Organic Waste System N.V. (OWS) ประเทศเบลเยี่ยมเป็นระบบแบบ Single-stage เดินระบบที่อุณหภูมิสูงประมาณ 50 ถึง 58 °C และมีระบบเตรียมสารอินทรีย์แบบ Dry Separation Process มีตะแกรงคัดแยกขยะแบบ Drum เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการคัดแยกขยะเบา (Light Reject) และมี Magnetic Separator เป็นอุปกรณ์คัดแยกขยะหนัก (Heavy Reject) โดยเฉพาะโลหะพวกเหล็กออกจากขยะชุมชน ซึ่งอุปกรณ์ที่เหล่านี้สำหรับโรงบำบัดขยะชุมชนแต่ละแห่งอาจแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบของขยะชุมชน

สำหรับขั้นตอนในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะเกิดขึ้นในถังที่ปิดสนิทซึ่งออกแบบให้มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบประมาณร้อยละ 15 ถึง 40 ทั้งนี้จะขึ้นกับชนิดของของเสียอินทรีย์ที่บำบัดรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.11

ขยะอินทรีย์จะถูกลำเลียงอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ถังปฏิกิริยาตรงส่วนบน ภายหลังจากขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแล้วถูกดึงออกจากถังปฏิกิริยาร้อยละ 5 ทุกวัน แล้วนำมารีดให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 50 จากนั้นจะนำไปหมักแบบใช้อากาศเพื่อให้แน่ใจว่าสารอินทรีย์ได้ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์ประมาณ 2 สัปดาห์ และจะไม่ถูกย่อยสลายต่อไปในสภาพที่มีอากาศอีก และสิ่งที่ได้เป็นผลผลิตสุดท้ายจากการหมักสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงดินได้อย่างปลอดภัย ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้ประมาณ 100 ถึง 200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันขยะอินทรีย์ ซึ่งจะนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน โดยที่ร้อยละ 50 ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกใช้ในระบบ แล้วจำหน่ายส่วนที่เหลือ

ตารางที่ 2.11 รายละเอียดของระบบ DRANCO Process

<u>ของเสียอินทรีย์ที่เหมาะสำหรับการบำบัดโดย DRANCO Process</u> • ขยะอินทรีย์ที่ผ่านการคัดแยกจากแหล่งกำเนิด • ขยะอินทรีย์ที่คัดแยกได้จากขยะรวมโดยใช้วิธีกล • สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย • ของเสียอินทรีย์อื่นๆ เช่น กระดาษที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ขยะจากตลาด และอุตสาหกรรม เป็นต้น	
<u>พารามิเตอร์ที่สำคัญในการเดินระบบ DRANCO Process</u>	
• ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Digester Loading):	10 ถึง 20 kg COD/m_r^3-d
• ช่วงอุณหภูมิที่เดินระบบ(Operating Temperture):	50 ถึง 58 °C
• ระยะเวลากักพัก (Retention Time):	15 ถึง 30 วัน ในถังปฏิกิริยา
<u>ผลผลิตของระบบ</u>	
• ก๊าซชีวภาพผลิตได้[1]:	100 ถึง 200 ลบ.เมตร
• ไฟฟ้าที่ผลิตได้[2]:	170 ถึง 350 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
• ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ	ร้อยละ 50

หมายเหตุ: [1] ต่อตันของขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ 55 - 60 %

[2] ต่อตันขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

5.2) WABIO Process

WABIO Process เป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นWet Digestion Process (Single-stage Anaerobic Digestion Process) ซึ่งเดิมเป็นเทคโนโลยีลิขสิทธิ์ของ Eco Technology JVV OY ประเทศฟินด์แลนด์ ซึ่งภายหลังได้เปลี่ยนมาอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัท Skanska Econet OY ประเทศฟินด์แลนด์

องค์ประกอบของ WABIO Process จะประกอบด้วยระบบ Front-end Treatment ซึ่งสามารถปรับให้สอดคล้องกับลักษณะองค์ประกอบของขยะชุมชน และข้อกำหนดเฉพาะในแต่ละกรณี ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานพื้นฐาน คือขยะชุมชนที่คัดแยกจากแหล่งกำเนิด หรือขยะรวมจากพื้นที่รับขยะจะถูกส่งผ่านเครื่องย่อย (Crusher) หรือเครื่องเปิดถุง (Bag Opener) เพื่อเปิดถุงและย่อยขยะชุมชนเบื้องต้น จากนั้นขยะชุมชนจะถูกส่งผ่าน Magnetic Separator เพื่อคัดแยกโลหะพวกเหล็กก่อนที่จะส่งไปยังตะแกรงคัดแยกขยะแบบ

Drum Screen เพื่อแยกส่วนที่เป็นขยะอินทรีย์และ ขยะเบา (Light Reject) ออกจากกัน จากนั้นขยะอินทรีย์ที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อย (Fragmentizer) เพื่อบดย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วจึงส่งไปยังระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อไป

ส่วนระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของ WABIO Process จะประกอบด้วย ถังเตรียมสารอินทรีย์ (Feed Preparation Tank) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการเตรียมขยะอินทรีย์ก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยา (Bioreactor) โดยในขั้นตอนนี้จะมีการปรับอุณหภูมิและ ค่าปริมาณของแข็ง (TS Content) ให้มีอุณหภูมิประมาณ 37±1 °C และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 15 นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ถังเตรียมสารอินทรีย์ใช้ในการแยกขยะเบา (Light Reject) เช่น เศษพลาสติกต่างๆ และขยะหนัก (Heavy Reject) เช่น เศษแก้ว หิน ทราย ออกจากขยะอินทรีย์ก่อนป้อนเข้าสู่ถังปฏิกิริยา

การย่อยสลายของสารอินทรีย์ใน WABIO Process จะเกิดขึ้นภายในถังปฏิกิริยา ที่ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนคอยเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพและฮิวมัส โดยการออกแบบถังปฏิกิริยาจะมีระยะเวลากักพักในประมาณ 15 ถึง 20 วัน ซึ่งภายในถังปฏิกิริยาจะออกแบบให้มีการคลุกเคล้า (Mixing) สารอินทรีย์โดยใช้ระบบ Gas Lifting หรือ Mechanical Mixing (Agitating) ขึ้นกับความเหมาะสมในแต่ละกรณี

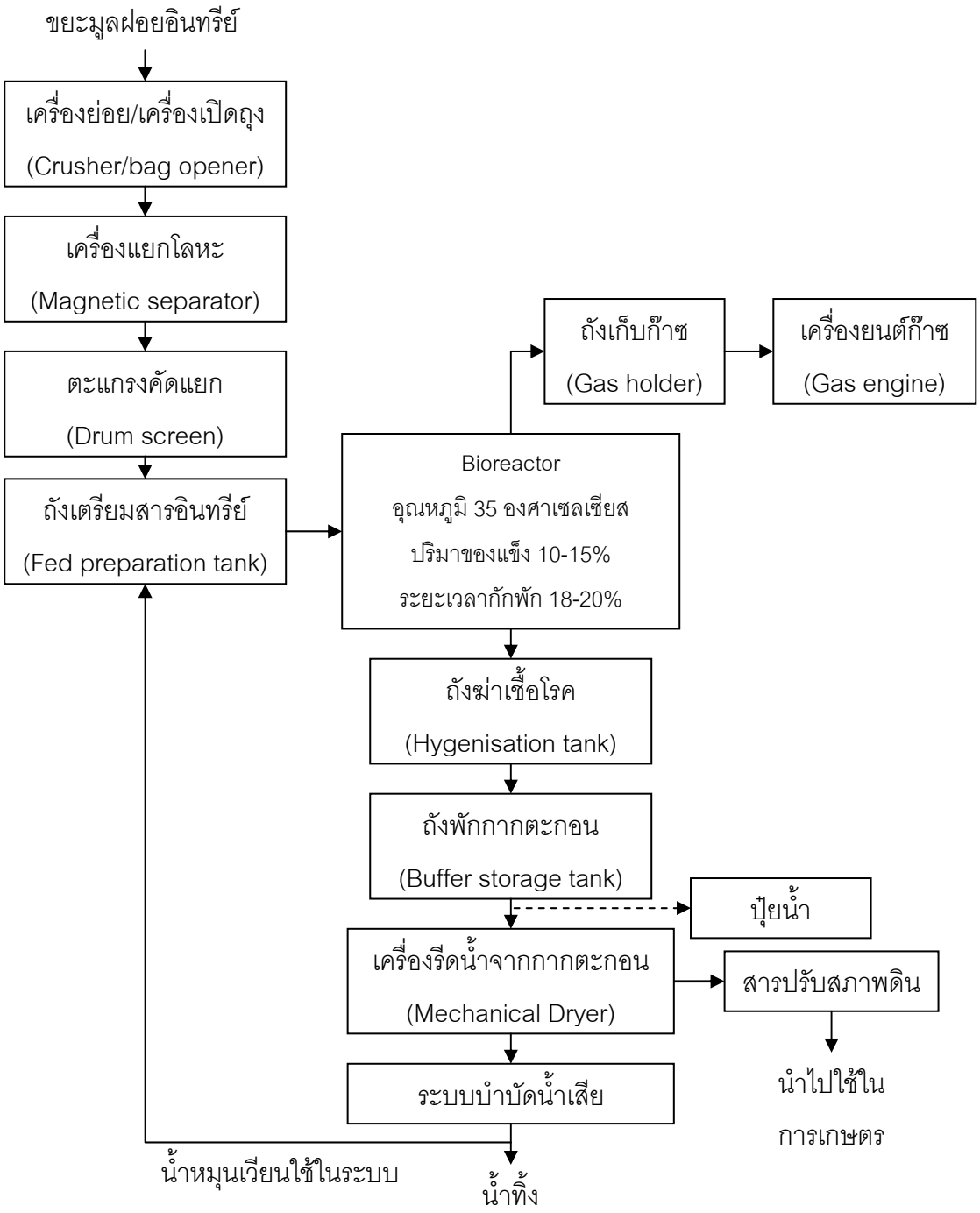
WABIO Process มีระบบฆ่าเชื้อโรคในกากตกตะกอนที่ย่อยสลายแล้วเพื่อให้มั่นใจได้ ว่าจะสามารถนำกากตะกอนดังกล่าวไปใช้ได้อย่างปลอดภัย โดยออกแบบเป็นถังฆ่าเชื้อโรคซึ่งเรียกว่า Hygienization Tank ซึ่งจะมีการให้ความร้อนกับกากตะกอนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และภายหลังได้มีการพัฒนาให้มีระบบฆ่าเชื้อเป็นแบบอบความร้อน (Thermal Drying) โดยใช้ความร้อนจากไอเสียของเครื่องยนต์ก๊าซ เพื่อเป็นทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอีกทางหนึ่งในกรณีที่เป็นการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้ Hygienization Tank ภายหลังการฆ่าเชื้อจะเป็นขั้นตอนการรีดน้ำออกจากกากตะกอน โดยใช้เครื่องรีดน้ำ (Mechanical Dryer) เพื่อให้ได้กากตะกอนดังกล่าวมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS Content) ประมาณร้อยละ 35 ถึง 45 ซึ่งเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการรีดน้ำจากกากตะกอนส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 40 ถึง 70) จะถูกหมุนเวียนไปใช้ในการเตรียมสารอินทรีย์ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนน้ำที่เหลือก็จะถูกส่งไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป ตัวอย่างการใช้งานระบบ WABIO Process แสดงดังภาพที่ 2.15 และ 2.16 รายละเอียดโดยสรุปของของระบบ WABIO Process แสดงในตารางที่ 2.12 และภาพที่ 2.17

ภาพที่ 2.15 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน WABIO Process ที่เมือง Bottrop เยอรมัน
ที่มา: Eco Technology JVV OY (1996)

ภาพที่ 2.16 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน WABIO Process ที่เมือง Forssa ฟินแลนด์
ที่มา: Skanska Econet OY (2000)

ตารางที่ 2.12 รายละเอียดของระบบ WABIO Process

<u>ของเสียอินทรีย์ที่เหมาะสำหรับการบำบัดโดย WABIO Process</u>	
• ของเสียอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับบำบัดโดยใช้	
• ขยะชุมชน และ ขยะอินทรีย์ที่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิด	
• กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	
• การย่อยรวม (Co-Digestion) ซึ่งส่วนผสมระหว่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและขยะชุมชน	
• ของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรม และฟาร์มเลี้ยงสัตว์	
<u>พารามิเตอร์ที่สำคัญในการเดินระบบ WABIO Process</u>	
• ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	14 ถึง 15 %TS
• ช่วงอุณหภูมิในถังปฏิกิริยา (Bioreactor Temperture):	35 ถึง 37 °C
• น้ำที่ใช้ในระบบ (Process water)	40 ถึง 70 °C
• อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading Rate)	6±1 kgVS/m_r^3-d
• ระยะเวลากักพักในถังปฏิกิริยา (Retention Time):	15 ถึง 20 วัน
<u>ผลผลิตของระบบ</u> (ปริมาณ ต่อตันของขยะอินทรียที่เข้าสู่ระบบ)	
• ก๊าซชีวภาพผลิตได้:	150 ถึง 200 ลบ.เมตร
• สารปรับปรุงคุณภาพดิน:	520 กิโลกรัม
• น้ำเสีย:	330 กิโลกรัม
<u>สมดุลพลังงานทั่วไป (Typical Energy Balance) ของ WABIO Process</u> (พลังงาน ต่อตันน้ำหนักแห้งของขยะอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ)	
• พลังงานของก๊าซชีวภาพ	1,830 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
• พลังงานความร้อนที่ผลิตได้จาก เครื่องยนต์ก๊าซ	900 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
• พลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบ	25 เปอร์เซ็นต์
• พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ก๊าซ	660 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
• พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ	7 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.17 แผนภาพการทำงานของ WABIO Process

5.3) ArrowBio Process

ArrowBio Process เป็นระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเป็นเทคโนโลยีลิขสิทธิ์ของ Arrow Ecology Ltd. ประเทศอิสราเอล ArrowBio Process มีระบบ Front-end Treatment เป็นแบบ Wet Separation Process และมีระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นแบบ Multi-stage Anaerobic Digestion Process ซึ่งเดินระบบที่อุณหภูมิระดับกลาง โรงงานต้นแบบของระบบ ArrowBio มีขนาด 10 ตันต่อวัน ตั้งอยู่ที่เมือง Hadera ประเทศอิสราเอล ซึ่งเริ่มเดินระบบตั้งแต่ปี1999 และหยุดเดินระบบในปี 2545 สำหรับโรงงานเต็มรูปแบบ ขนาด 200 ตันต่อวัน ตั้งอยู่ที่กรุง Tel Aviv ประเทศอิสราเอล ก่อสร้างบนพื้นที่ประมาณ 1.5 เอเคอร์และได้เริ่มต้นเดินระบบตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี 2545 ซึ่งเมื่อเดินระบบเต็มความสามารถคาดว่าจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 2 MW โดยระบบมีหลักการทำงานดังนี้

ขยะชุมชนจะถูกเทลงบนพื้นที่รับขยะ (Walking Floor) ขยะที่มีขนาดใหญ่และไม่เหมาะสมกับการบำบัดในระบบจะถูกคัดแยกออกไปโดยใช้ปั้นจั่นหรือใช้แรงงานคน จากนั้นขยะจะถูกส่งไปยังFloating Tankซึ่งจะมีเครื่องย่อยขนาด(Shredder) ติดตั้งแบบจม (Submerged) ทำหน้าที่เปิดถุงให้ขยะกระจายออกและตัดขยะที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง ขยะที่ไม่ใช้สารอินทรีย์จะถูกแยกออกไปโดยใช้ระบบจม-ลอย (Sink or Float System) โดยขยะที่มีน้ำหนักเบา (Light Fraction) ก็จะลอยขึ้นและถูกกวาดออกไปจาก Floating Tank โดยใช้ PaddleWheel จากนั้นจะส่งไปยังเครื่องย่อย (Shredder) และตะแกรงคัดแยกขยะแบบ Drum เพื่อแยกขยะอินทรีย์ที่ปะปนมาด้วย โดยเฉพาะกระดาษ ซึ่งเมื่อเปียกน้ำก็จะตกลงมาตามรูตะแกรงและถูกส่งกลับไปยัง Floating Tank ในขณะที่พลาสติกต่างๆ ซึ่งไม่ดูดซับน้ำก็จะถูกส่งผ่านตะแกรงคัดแยกไปยัง Container เพื่อนำไปแยกประเภทต่อไป ส่วนวัสดุที่มีน้ำหนักมากที่จมอยู่ภายในFloating Tank ก็จะถูกลำเลียงยังระบบคัดแยกโลหะโดยใช้ Magnetic Separator (สำหรับแยก Ferrous Metal) และ Eddy Current (สำหรับแยก Non-Ferrous Metal) เป็นต้น สำหรับขยะอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ง่ายเมื่อดูดซับน้ำใน Floating Tank ก็จะละลายน้ำอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Suspension) ส่วนขยะอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ช้า เช่น กระดาษ ต่างๆ เมื่อดูดซับน้ำและเริ่มเปื่อยยุ่ยก็จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยความเร็วต่ำ ก่อนส่งไปยัง Hydro-Crusher ซึ่งจะมีการใช้น้ำแรงดันสูงเพื่อให้เกิดแรงตัดเฉือน (Shearing Force) ทำให้สารอินทรีย์เปื่อยยุ่ยเหลวมีลักษณะคล้ายเยื่อกระดาษ และมีสภาพเป็นตะกอนเหลว (Slurry) ก่อนที่จะถูกส่งไปยังระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น เดียวกับสารอินทรีย์ที่ละลายแล้วจาก Floating Tank ส่วนขยะอินทรีย์ที่ยังมีขนาดใหญ่อยู่จะถูกส่งกลับไปยัง Floating Tank เพื่อผ่านกระบวนการซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

สารอินทรีย์ที่เตรียมได้ซึ่งอยู่ในรูปของของเหลวจะถูกส่งไปยังระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นแบบ Two-stage โดยขั้นตอนแรกจะถูกส่งไปยังถังหมัก

กรดแบบ Facultative Anaerobic Digestion ที่ออกแบบถังให้เป็นแบบ Plug-flow ซึ่งมีการป้อนสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่องโดยมีระยะเวลากักพักของแข็ง (Solid Residence Time) และระยะเวลากักพักของเหลว (Hydraulic Residence Time) เท่ากันคือ ประมาณ 4 ชั่วโมง สารอินทรีย์ที่ผ่านการหมักในถังนี้แล้วบางส่วนจะส่งกลับเข้าสู่ถังอีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์

สารอินทรีย์เหลวที่ผ่านการหมักใน Acidogenic Bioreactor ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ (Organic Acid) จะถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ประมาณ 40 °C แล้วส่งไปยังถังหมักก๊าซ (Methanogenic Bioreactor) แบบ Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ซึ่งจะมีการป้อนของเหลวสารอินทรีย์ที่ผ่านการหมักใน Acidogenic Bioreactor เข้าสู่ถังทางด้านล่างอย่างต่อเนื่อง มีระยะเวลากักพักของเหลว (HRT) และระยะเวลากักพักของแข็ง (SRT) แตกต่างกันคือประมาณ 3 วันและ 90 วันตามลำดับ

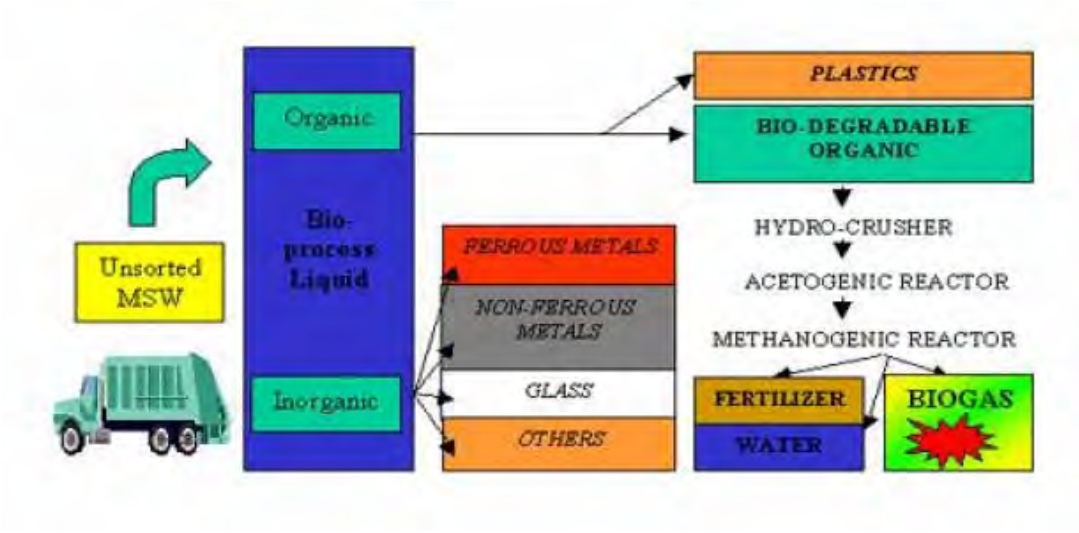
กากตะกอนของแข็งจาก Methanogenic Bioreactor จะผ่านการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีระยะเวลากักพักนานถึง 3 เดือน ดังนั้นเมื่อนำไปรีดน้ำก็จะสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับการเพาะปลูกได้อย่างปลอดภัย (โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบฆ่าเชื้อโรค) น้ำเสียที่เกิดจากการรีดน้ำออกจากกากตะกอนส่วนใหญ่ก็จะถูกหมุนเวียนกลับไปในระบบโดยเฉพาะใน Floating Tank ส่วนน้ำส่วนเกินจะถูกส่งไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปพักเก็บไว้ใน Gas Storage Tank ก่อนที่นำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซต่อไป รายละเอียดโดยสรุปของของระบบ ArrowBio Process แสดงตารางที่ 2.13 และภาพที่ 2.18 ถึง 2.19

ตารางที่ 2.13 รายละเอียดของระบบ ArrowBio Process

<u>ของเสียอินทรีย์ที่เหมาะสำหรับการบำบัดโดย ArrowBio Process*</u>	
• ขยะอินทรีย์จากบ้านเรือนและร้านอาหาร	
• สารอินทรีย์จากอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร และอาหารกระป๋อง	
• ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์และมูลสัตว์	
• ของเสียจากโรงฆ่าสัตว์	
• สลัดจ์อินทรีย์จากถังตกตะกอนและระบบบำบัดน้ำเสีย	
• เศษใบไม้ ใบหญ้า จากการตกแต่งสวน	
<u>ลักษณะและปริมาณของขยะที่เข้าสู่ระบบ</u>	
• ปริมาณขยะชุมชนทั้งหมด	30,000 ตันต่อปี
• ปริมาณขยะอินทรีย์ (น.น.เปียก)	21,000 ตันต่อปี
• ปริมาณขยะอินทรีย์ (น.น.แห้ง)	7,350 ตันต่อปี
<u>ผลผลิตของระบบ</u> (ปริมาณ ต่อตันของขยะอินทรียที่เข้าสู่ระบบ)	
• ผลผลิตก๊าซชีวภาพต่อตันของขยะอินทรีย์ (นน.แห้ง)	500 ลบ.ม.ต่อตัน
• ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด	3,370,500 ลบ.ม.ต่อปี
• ปุ๋ยอินทรีย์ (ความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์)	3,675 ตันต่อปี
<u>สมดุลมวลและพลังงาน ArrowBio Process</u>	
• ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (มีเทน 70%)	7 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลบ.ม.
• พลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพทั้งหมด	23,152.5เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
• ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ (ประสิทธิภาพ 33%)	7,640.3 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
• ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ	764.033 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
• ไฟฟ้าส่วนเกิน	6,876.3 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

หมายเหตุ: * ขยะเข้าสู่ระบบ 100 ตันต่อวัน โดยมีขยะอินทรีย์ที่มีความชื้นร้อยละ 65 เป็นองค์ประกอบประมาณ ร้อยละ 70

ที่มา: Arrow Ecology Ltd. (2000)



ภาพที่ 2.18 แผนภาพสรุปการทำงานของ ArrowBio Process

ที่มา: www.arrowecology.com

ภาพที่ 2.19 โรงบำบัดขยะชุมชน ระบบ ArrowBio ขนาด 10 ตันต่อวัน เมือง Hadera ประเทศอิสราเอล

ที่มา: www.arrowecology.com

2.2.1.3 คุณภาพและใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ (Biogas Utilization)

1) ลักษณะสมบัติของก๊าซชีวภาพ (Biogas Characteristic)

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 55-70 โดยปริมาตร ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-45 นอกจากนี้ก๊าซชีวภาพยังมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นองค์ประกอบประมาณ 200-300 ส่วนในล้านส่วนปริมาตร (ppmv) รวมทั้งมีก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และ ก๊าซอื่นๆ ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และออกซิเจน (O_2) นอกจากนี้อาจมีฝุ่นละอองเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพด้วย (IEA Bioenergy, 1996) โดยตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ/ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ปริมาณ/ความเข้มข้น
Methane (CH_4, Dry Gas)	%volume	60-70
Carbon dioxide (CO_2, Dry Gas)	%volume	30-40
Hydrogen sulfide (H_2S)	mg/nm^3	<12
Chloride (Cl^-)	mg/nm^3	<0.3
Fluoride (F^-)	mg/nm^3	<0.4
Ammonia (NH_3)	mg/nm^3	<0.05
Dust	mg/nm^3	0
Calorific Value	kWh/m^3	6.0-7.0

ที่มา: Eco Technology JVV OY. (1996)

2) การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (Biogas Upgrading)

การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติก่อน องค์ประกอบสำคัญที่อาจจะต้องกำจัดก่อนนำไปใช้ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบฮาโลเจน (Halogenated Compound)

(1) การกำจัดสารประกอบซัลไฟด์ (Desulphurization) เพื่อป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion) และหลีกเลี่ยงอันตรายที่เกิดจากพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพิษของ

SO_2/SO_3 ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ โดยวิธีการกำจัดสารประกอบซัลไฟด์ที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ การให้อากาศ/ออกซิเจนในปริมาณที่พอเหมาะ (ร้อยละ 2-6) แก่ถังปฏิกิริยา การเติม Iron Chloride ในถังปฏิกิริยา การใช้ Iron Oxide ทำปฏิกิริยากับ H_2S การใช้ Water/NaOH Scrubbing และการใช้ Biological Filter เป็นต้น

(2) การกำจัดน้ำ (Water Removal) เนื่องจากสามารถเกิดการสะสมของ Condansate ใน Gas Line และทำให้เกิดเป็นกรดที่กัดกร่อนได้ เช่น กรณีที่มี H_2S ละลายอยู่ โดยวิธีการกำจัดน้ำในก๊าซชีวภาพสามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ เช่น การใช้ถัง Condansate และการใช้เครื่องแยกน้ำ (Water Separator) เป็นต้น

(3) การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Removal) จะมีความจำเป็นเมื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพให้เท่าเที ยมกับก๊าซธรรมชาติ หรือเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นก๊าซที่ทำให้ค่าพลังงานของก๊าซชีวภาพเจือจางลง การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติคงที่ ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ Water Absorption, Polyethylene glycol, Absorption Carbon, Molecular Sieves และ Membrane Separation

(4) การกำจัดก๊าซที่เป็นสารประกอบฮาโลเจน (Halogenated Compound Removal) ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะชุมชนที่มีดูดก๊าซออกมามากเกินไปสารประกอบฮาโลเจน ได้ แก่ สารประกอบคลอไรด์ และฟลูออไรด์ จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเครื่องยนต์ก๊าซ ดังนั้นหากก๊าซชีวภาพมีปริมาณของก๊าซฮาโลเจนเกินมาตรฐานที่ผู้ผลิตเครื่องยนต์ก๊าซกำหนดไว้จะต้องมีการกำจัดก๊าซนี้ออกไปโดยการใช้ Activated Carbon เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในแต่ละกรณี ต้องการคุณภาพก๊าซที่แตกต่างกัน ดังนั้นความจำเป็นในการบำบัดก๊าซก่อนนำไปใช้ประโยชน์ก็จะแตกต่างกัน ดังตัวอย่างซึ่งแสดงในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ตัวอย่างข้อกำหนดคุณภาพก๊าซชีวภาพและการปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้ประโยชน์

การใช้ประโยชน์	H_2S Removal	CO_2Removal	H_2O Removal
Boiler	<1,000 ppm	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น
CHP Engine	<1,000 ppm	ไม่จำเป็น	ต้องไม่มี Condensate
เชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์	จำเป็น	ควรกำจัดCO_2	จำเป็น
เตาหุงต้ม	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น
ส่งเข้าท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น

ที่มา: Wellinger, and Linberg (n.d.)

3) คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงพลังงานของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพซึ่งผลิตได้ จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติซึ่งได้มาจากการขุดเจาะ อย่างไรก็ตามก๊าซธรรมชาติมีองค์ประกอบอื่นที่นอกเหนือจากมีเทน ซึ่งได้แก่ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น บิวเทน (Butane) อีเทน (Ethane) และโพรเพน (Propane) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติมีค่าความร้อนสูงกว่าก๊าซชีวภาพ (ดูรายละเอียดในตารางที่ 2.16) อย่างไรก็ตามมีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ เป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยที่สุดและก็มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ

ตารางที่ 2.16 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซชีวภาพ*
Lower Calorific Value: MJ/m^3	36.14	21.48
Density: kg/m^3	0.82	1.21
Maximum Velocity: m/s	0.39	0.25
Theory Air Requirement: m^3air/ m^3gas	9.53	5.71
Max. CO_2-conc.in Stack Gas: %Vol	11.90	17.80
Dew Point: °C	59.00	60.00-160.00

หมายเหตุ: * เมื่อก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย มีเทน 60% คาร์บอนไดออกไซด์ 38% และก๊าซอื่นๆ 2%

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

4) ศักยภาพในการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน (Energy Potential of MSW)

ผลผลิตและลักษณะสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะขึ้นกับองค์ประกอบและคุณภาพของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จะขึ้นกับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading) การออกแบบระบบและวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบว่ามุ่งเน้นการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือมุ่งเน้นการกำจัดขยะชุมชนและการได้ผลผลิตเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินเป็นสำคัญ

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 100-200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของขยะอินทรีย์ (น้ำหนักเปียก) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือประมาณ 400-600 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของแข็งระเหย (น้ำหนักแห้ง) โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 MJ/m^3 ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบ

5) การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ (Biogas Utilization)

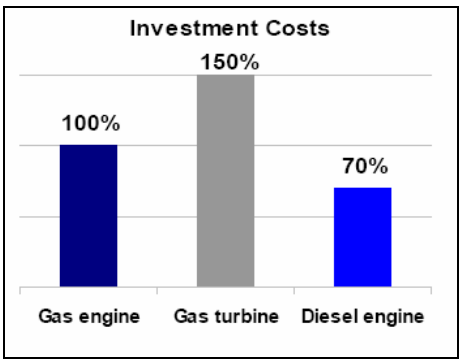
วิธีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน คือ การใช้เป็นเชื้อเพลิงในผลิตไฟฟ้าและ/หรือพลังงานความร้อน โดยการใช้ CHP-Engine, Gas Turbine หรือ Boiler นอกจากนี้ยังสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ และ Fuel Cell สำหรับการผลิตไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้เกิดต้นทุนประสิทธิภาพในอนาคต ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน เท่านั้น

5.1 การใช้ CHP-Engine สำหรับการเปลี่ยนพลังงานของก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า และความร้อน ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อถือได้ และเป็นที่นิยมแพร่หลายมาเป็นเวลานาน โดยก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปเผาใน Internal Combustion Engine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดย Internal Combustion Engine ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 200 kW) จะมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 25 ในขณะที่ Internal Combustion Engine ขนาดใหญ่อาจมีประสิทธิภาพสูงสุดถึงประมาณร้อยละ 42 เมื่อก๊าซชีวภาพถูกนำมาผลิตไฟฟ้าใน Internal Combustion Engine ก็จะสามารถผลิตพลังงานความร้อนจากน้ำหล่อเย็น และไอเสียเครื่องยนต์ ซึ่งการนำความร้อนนี้มาใช้ประโยชน์ก็จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมในการเปลี่ยนพลังงานก๊าซชีวภาพ เป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนของ Internal Combustion Engine สูงจนเป็นร้อยละ 65-85 ขนาดของ CHP-Engine จะมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น ขนาด 75 kW_{el} ซึ่งใช้กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก จนถึงขนาดใหญ่หลายเมกะวัตต์ เช่น ขนาด 5 MW_{el} ซึ่งใช้กับก๊าซธรรมชาติ หรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่ หรือก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน

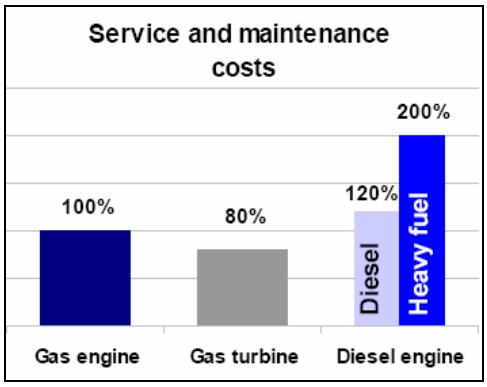
5.2 การใช้ Gas Turbine ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยระบบที่มีขนาดใหญ่ รูปแบบการผลิตไฟฟ้าอาจเป็นแบบ Combined Cycle ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของ Gas Turbine, Steam Turbine และ Waste Heat Recovery Boiler ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของ Gas Turbine สูงขึ้น Gas Turbine ขนาดตั้งแต่ 200 kW_{el} (Micro Turbine) ขึ้นไป และจะมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับ Internal Combustion Engine ก็ต่อเมื่อมีขนาดมากกว่า 800 kW_{el} ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม การใช้ Gas Turbine จะทำให้สามารถกู้คืนความร้อนในรูปของไอน้ำร้อนได้มากขึ้น เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ได้จาก Gas Turbine จะอยู่ในรูปของไอเสียทั้งหมด

5.3 การใช้ Boiler โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตน้ำร้อนและไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สิ่งสำคัญที่สุดในการเลือกระบบใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ คือ ขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ รูปแบบความต้องการพลังงาน และความเป็นไปได้ในการส่งพลังงานออกสู่ภายนอก ซึ่งหากมีความต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักและมีความเหมาะสมในการส่งไฟฟ้าส่วนเกินจากที่ใช้ในระบบออกสู่สายส่ง ควรจะเลือกใช้ คือ Gas Engine (CHP Engine) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้เพียงพอสำหรับการใช้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ในกรณีระบบขนาดใหญ่ต้องการใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำเป็นหลักควรเลือกใช้ Gas Turbine หรือ Boiler เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญซึ่งควรพิจารณา ได้แก่ ต้นทุนในการติดตั้ง ค่าเดินระบบ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ความยากง่ายในการเดินระบบ ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน และปริมาณการ ปลดปล่อยก๊าซมลพิษ เป็นต้น โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบทางด้านต่างๆ ระหว่าง Gas Engine และ Gas Turbine รวมทั้ง Diesel Engine ซึ่งใช้เป็นกรณีฐานในการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ก๊าซชีวภาพและการน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน ดังภาพที่ 2.20 ถึงภาพที่ 2.25

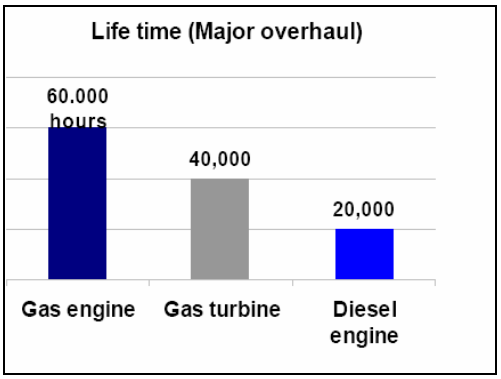


ภาพที่ 2.20 การเปรียบเทียบค่าลงทุนในการติดตั้ง Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine

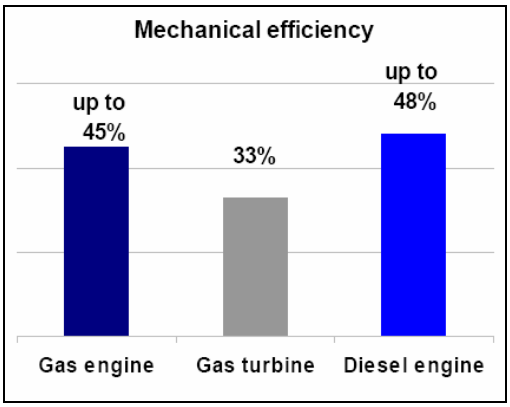


ภาพที่2.21 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine

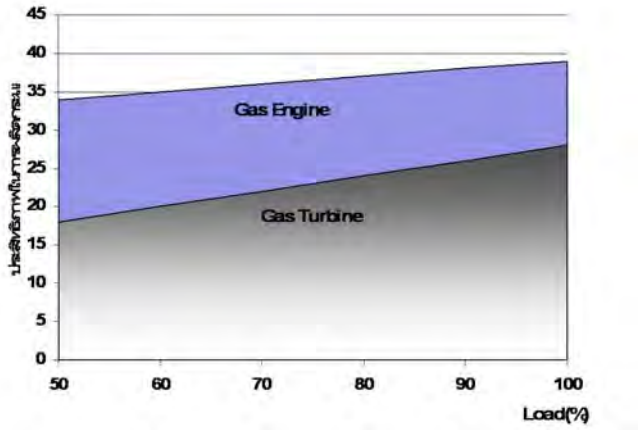
ที่มา: Jenbacher AG, 2001



ภาพที่ 2.22 เปรียบเทียบช่วงเวลาที่ต้องซ่อมใหญ่ของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine

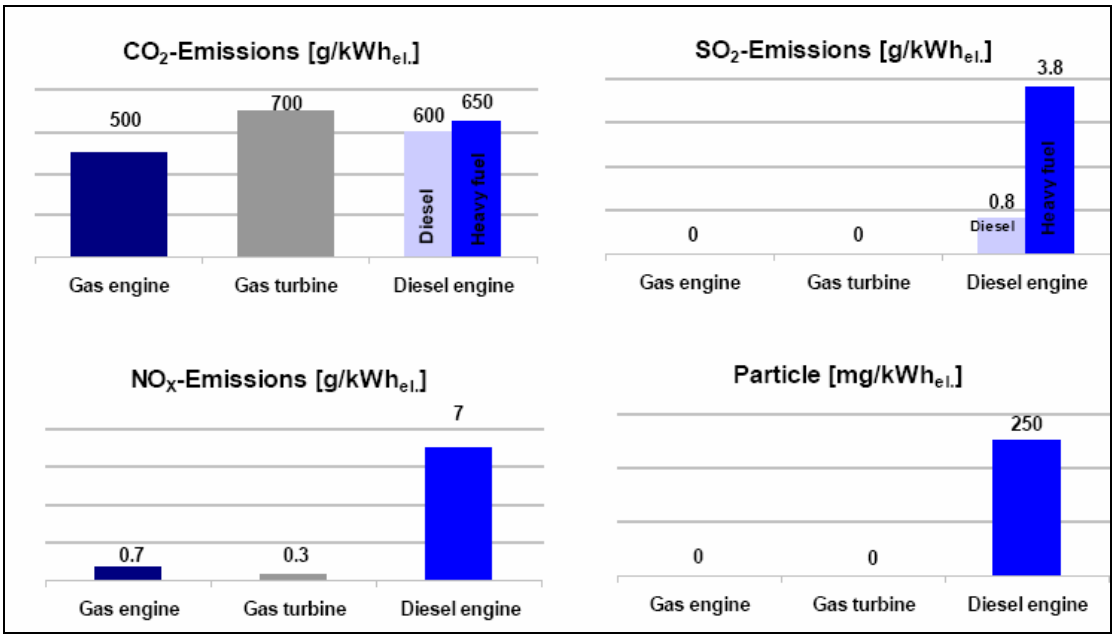


ภาพที่ 2.23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการเปลี่ยนรูปพลังงานของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine



ภาพที่ 2.24 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้า ของ Gas Engine, Gas Turbine เมื่อเดินเครื่องที่ Part Load

ที่มา: Jenbacher AG, 2001



ภาพที่ 2.25 การเปรียบเทียบการปล่อยออกของก๊าซมลพิษของ Gas Engine, Gas Turbine และ Diesel Engine

ที่มา: Jenbacher AG, 2001

2.2.1.4 การจัดการคุณภาพและการใช้ประโยชน์จากกาก (Quality Management and Utilization of AD Residue)

ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์จะเปลี่ยนขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายให้เป็นก๊าซชีวภาพสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานความร้อนและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้วก็จะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Compost หรือ Soil Conditioner) ก็คือฮิวมัสซึ่งเป็นอินทรียวัตถุที่คงสภาพ โดยทั่วไปจะพบฮิวมัสได้ตามธรรมชาติบริเวณดินชั้นบนที่อุดมสมบูรณ์ ฮิวมัสมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืช และทำให้ดินร่วนซุย รวมทั้งส่งเสริมการทำงานของรากพืชในการชอนไชดูดน้ำดูดอาหาร และช่วยป้องกันการพังทลายของหน้าดิน ขยะอินทรีย์จึงเป็นวัตถุดิบสำคัญที่จะผลิตฮิวมัส อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ผลผลิตมีคุณสมบัติเป็นฮิวมัสที่ดี กระบวนการทำงานจะต้องมีการควบคุมและจัดการคุณภาพ โดยมีประเด็นสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือ

- การควบคุมการปนเปื้อนของมลสารทางเคมี (Chemical Organic Pollutant)
- การทำลายวงจรการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ก่อโรค
- การกำจัดสิ่งปนเปื้อนทางกายภาพ (Physical Impurities)
- การหมุนเวียนธาตุอาหารพืชต่างๆ กลับมาใช้ใหม่ และการนำสารปรับปรุงคุณภาพดินไปใช้อย่างถูกต้องเหมาะสม

ในการควบคุมและจัดการคุณภาพสารปรับปรุงคุณภาพดินประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

1) การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ ซึ่งก็คือขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2) การจัดการในขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการควบคุมปัจจัยในการเดินระบบ และการฆ่าเชื้อโรค

3) การจัดการคุณภาพสารปรับปรุงคุณภาพดิน โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีหลักเกณฑ์ในการจัดการ คือการควบคุมสมบัติทางเคมี (Chemical Properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) และสมบัติทางชีวภาพ (Biological Properties) ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

(1) สมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

สมบัติทางเคมีของสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ต้องคำนึงมี 3 ประการ คือปริมาณธาตุอาหารพืช การตกค้างของสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Persistent Organic Pollutants, POPs) และการปนเปื้อนของโลหะหนัก (Heavy Metal)

(1.1) ปริมาณธาตุอาหารพืช ที่จะต้องคำนึงคือ ปริมาณธาตุอาหารหลัก (Macronutrient) ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม (N-P-K) โดยทั่วไปสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์จะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณโปตัสเซียม การจัดการที่เหมาะสมทางด้านปริมาณธาตุอาหารพืชในสารปรับปรุงคุณภาพดินทำได้โดยการแจ้งข้อมูลปริมาณธาตุอาหารของพืชแก่ผู้นำไปใช้ เพื่อให้สามารถวางแผนและนำสารปรับปรุงคุณภาพดินไปใช้ได้อย่างถูกต้องและสมดุล

(1.2) สารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Persistent Organic Pollutants, POPs) ส่วนใหญ่มาจากการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมูลสัตว์จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ต่างๆ รวมทั้งของเสียจากอุตสาหกรรม การใช้สารอันตรายในบ้านเรือน และการชะล้างฝุ่นละอองจากไอเสียจากยานพาหนะสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารมลพิษตก ค้างยาวนานในสารปรับปรุงคุณภาพดิน เป็นดังตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.17 ตัวอย่างการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณสารมลพิษตกค้างยาวนานในสารปรับปรุงคุณภาพดิน ของประเทศเดนมาร์ก

POPs	Limit Value (mg/kg D.M.)
Linear Alkylbenzene Sulphonates (LAS)	1,300
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	3
Nonylphenolethoxylates (NPE)	30*
Di (2-ethylhexyl) phthalate	50

หมายเหตุ: * Limit Value ของ NPE จะปรับลดเหลือ 10 mg/kg D.M.ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ค.ศ.2002 เป็นต้นไป

ที่มา: Danish Ministry of Environmental and Energy (2000) อ้างถึงใน Seadi, T. A. (n.d.)

(1.3) การปนเปื้อนโลหะหนัก ส่วนใหญ่จะปนเปื้อนอยู่ในขยะอินทรีย์จากการใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในบ้านเรือน และการปนเปื้อนของของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโลหะหนักที่ควรคำนึงถึง ได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) นิเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) โดยตัวอย่างการกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในสารปรับปรุงคุณภาพดินเป็นดังตารางที่ 2.18

ตารางที่ 2.18 ตัวอย่างการกำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากการระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับใช้เพื่อการเพาะปลูกของประเทศต่างๆ

Country/Region	Cd	Pb	Hg	Ni	Zn	Cu	Cr
EU, Recommendation	20	750	16	300	2500	1000	1000
EU, Maximum	40	1200	25	400	4000	1750	1750
Austria	4	500	4	100	1000	400	150
Belgium	6	300	5	50	900	375	250
Denmark	0.8	120	0.8	30	4000	1000	100
Finland	1.5	100	1	100	150	600	300
France	20	800	10	200	3000	1000	3000
Germany	10	900	8	200	2500	800	900
Ireland	20	750	16	300	2500	1000	1000
Italy	20	750	10	300	2500	1000	-
Luxembourg-rec.	20	750	16	300	2500	1000	1000
Luxembourg-max.	40	1200	25	400	4000	1750	1750
Norway	4	100	5	80	1500	1000	125
Spain (pH<7)	20	750	16	300	2500	1000	1000
Spain (pH>7)	40	1200	25	400	2500	1750	1200
Sweden	2	100	2.5	50	4000	600	100
Switzerland	5	500	5	80	800	600	500
Thailand*	5	500	2	50		500	300
The Netherlands	1.25	100	0.75	30	2000	75	75
United Kingdom	-	1200	-	-	300	-	-

หมายเหตุ: * กรมพัฒนาที่ดิน

ที่มา: Seadi, T. A. (n.d.)

สิ่งสำคัญในการควบคุมการปนเปื้อนของโลหะหนักในสารปรับปรุงคุณภาพดิน คือ การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ เนื่องจากโดยทั่วไปสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่คัดแยกจากแหล่งกำเนิดจะมีโอกาสปนเปื้อนด้วยโลหะหนักน้อยกว่าสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่มาจากการคัดแยกขยะชุมชน

ซึ่งจะต้องมีความใส่ใจในการคัดแยกขยะชุมชนในขั้นตอน Front-end Treatment มากขึ้น เพื่อให้สามารถคัดแยกวัสดุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักออกจากระบบให้ได้มากที่สุด

(2) สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทางกายภาพที่พบในสารปรับปรุงคุณภาพดิน ได้แก่ เศษพลาสติก เศษแก้ว โลหะ หิน ทราย เศษไม้ชิ้นเล็กๆ เป็นต้น ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ที่นำไปใช้ให้ได้รับบาดเจ็บหรือทำให้สารปรับปรุงคุณภาพดินมีลักษณะภายนอกที่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ วิธีการที่สำคัญในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของสารปรับปรุงคุณภาพดินจะคล้ายคลึงกับการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี ก็คือ การส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด และในกรณีที่จะต้องคัดแยกขยะอินทรีย์จากขยะชุมชน ระบบคัดแยกก็ควรสามารถคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะอินทรีย์ให้ได้มากที่สุด นอกจากนี้หากในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีขั้นตอนการเตรียมสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถแยก Light Reject และ Heavy Reject ออกจากระบบได้อีกขั้นหนึ่งก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะอินทรีย์

(3) สมบัติทางชีวภาพ (Biological Properties)

สมบัติทางชีวภาพของสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ควรคำนึงถึง คือ การปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และพยาธิต่างๆ รวมทั้งการปนเปื้อนด้วยเมล็ดวัชพืชต่างๆ ซึ่งหากขาดการจัดการที่เหมาะสมอาจจะเกิดการแพร่กระจายได้ การควบคุมสมบัติทางชีวภาพของสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถทำได้โดย

(3.1) ควบคุมชนิดของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดยไม่นำขยะติดเชื้อ (Infectious Waste) ชิ้นเนื้อและมูลสัตว์ที่ป่วยเป็นโรค เข้าสู่ระบบ

(3.2) ทำการฆ่าเชื้อโรค (Pasteurization) ด้วยการให้ความร้อนแก่ขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือเศษเหลือจากการหมัก (AD Residue) ให้มีอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือใช้วิธีการอบความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม

(3.3) เดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่อุณหภูมิระดับสูง (Thermophilic Temperature) โดยออกแบบถังปฏิกิริยาให้มี MGRT (Minimum Guaranteed Retention Time) เพียงพอ คือ ประมาณ 6-10 ชั่วโมง เมื่อเดินระบบที่อุณหภูมิประมาณ 50-55 °C โดยสรุปหลักการทั่วไปในการควบคุมคุณภาพและใช้ประโยชน์จากเศษเหลือจากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอย่างปลอดภัย มีดังนี้คือ

- ส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด
- คัดเลือกชนิดและคุณภาพของขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และป้องกันไม่ให้มีขยะอันตราย และขยะติดเชื้อเข้าสู่ระบบ

- สุ่มเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ขยะอินทรีย์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบเป็นระยะๆ

- ออกแบบและเดินระบบ Front-end Treatment ให้เหมาะสมหากจะต้องคัดแยกขยะอินทรีย์จากขยะชุมชน

- ควบคุมปัจจัยในการเดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (อุณหภูมิระยะเวลากักพัก) ให้เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์และทำให้ขยะอินทรีย์คงสภาพ

- มีระบบฆ่าเชื้อโรคหรือวิธีการควบคุมที่เท่าเทียมกันเพื่อกำจัด จุลินทรีย์ก่อโรคอย่างเหมาะสม

- ใช้หลักการเกษตรเหมาะสม (Good Agriculturing Practice) ในการนำสารปรับปรุงคุณภาพดินไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก

หากสามารถจัดการคุณภาพสารปรับปรุงคุณภาพดินให้ได้ตามหลักการข้างต้นก็จะสามารถมั่นใจได้ว่า จะได้รับประโยชน์จากการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะอินทรีย์อย่างเต็มที่ ซึ่งไม่เพียงแต่จะเป็นระบบที่สามารถผลิตพลังงานจากขยะชุมชน แต่ยังเป็นระบบที่มีอัตราการรีไซเคิลขยะอินทรีย์สูงสุด (Maximum Organic Recycling Rate) โดยการเปลี่ยนขยะอินทรีย์ให้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินที่สามารถคืนความอุดมสมบูรณ์ให้กับธรรมชาติได้

2.2.1.5 พลังงานที่ได้และพลังงานที่ใช้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในการพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้ เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน จำเป็นที่จะต้องศึกษาสมดุลพลังงานของระบบทั้งหมด ตั้งแต่การรับขยะอินทรีย์เข้าสู่ระบบใน Front-end Treatment จนกระทั่งได้ผลผลิตเป็นพลังงานในรูปของกระแสไฟฟ้าหรือความร้อน และสารปรับปรุงคุณภาพดินที่อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการนำไปใช้ โดยในขั้นตอนต่างๆ ของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่างก็มีความต้องการใช้พลังงานสำหรับการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะแตกต่างกันไปแล้วแต่กรณี โดยทั่วไประบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องการพลังงานทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนรวมประมาณร้อยละ 20-40 ของพลังงานของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ และจะมีพลังงานส่วนเกินที่สามารถส่งออกนอกระบบในรูปของพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 100-150 kWh/ตันของขยะอินทรีย์ (IEA Bioenergy,1996)

2.2.1.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะชุมชุน

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดขยะชุมชนโดยการฝังกลบที่เกิดน้ำชะขยะชุมชนที่อาจปนเปื้อนลงสู่ดินแหล่งน้ำใต้ดิน อีกทั้งยังใช้พื้นที่น้อยมาก และไม่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรค สัตว์พาหนะนำโรค และกลิ่นรบกวน เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นการทำงานในระบบปิด นอกจากนี้ยังให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งเป็นการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ให้มีประโยชน์สูงสุด

สารปรับปรุงคุณภาพดินที่ได้สามารถใช้ร่วม หรือใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อลดปริมาณสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในผลผลิตทางการเกษตรและพื้นที่เพาะปลูก ในขณะที่ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นแหล่งพลังงานสะอาดสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งจะช่วยลดมลพิษทางอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานโดยการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนจะช่วยลดปริมาณมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดขยะชุมชนแบบกองทิ้งกลางแจ้ง การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกอันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีศักยภาพทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า

2.2.1.7 สรุปข้อมูลทางเทคนิคและข้อเด่น - ข้อด้อยในการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะชุมชน

โดยทั่วระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถผลิตก๊าซก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 100 – 200 ลูกบาศก์เมตร/ตันขยะอินทรีย์ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 55- 70 ซึ่งค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (60% CH_4, 38% CO_2 และอื่นๆ 2%) จะมีค่าประมาณ 21.48 MJ/m^3 หรือคิดเป็นประมาณ 6 kWh (IEA Bioenergy, 2005) ขึ้นกับปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบ และต้องการพลังงานในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนรวมประมาณร้อยละ 20-40 ของพลังงานก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เพื่อใช้ในระบบ และส่งออกพลังงานในรูปของไฟฟ้าได้ประมาณ 100 – 150 kWh/ ตันขยะอินทรีย์ (IEA Bioenergy, 1996) ทั้งนี้ขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ก๊าซที่ใช้

ข้อเด่นและข้อด้อยในการข้อด้อยในการใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะชุมชนสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.19

ตารางที่ 2.19 สรุปข้อเด่น - ข้อด้อยของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ข้อเด่น	ข้อด้อย
1) ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการของเสีย	
▪ เป็นเทคโนโลยีการบำบัดขยะชุมชนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ▪ มีก๊าซชีวภาพ สารปรับปรุงคุณภาพดินเป็นผลผลิตพลอยได้ ▪ สามารถแก้ปัญหากลิ่นเหม็น สัตว์พาหนะนำโรคที่เกิดจากการกำจัดขยะชุมชนที่ไม่ถูกหลักวิชาการ ▪ เป็นการหมุนเวียนขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารปรับปรุงคุณภาพดิน ▪ ลดการใช้พื้นที่ในการกำจัดขยะชุมชน เมื่อเทียบกับระบบฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และระบบหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศแบบดั้งเดิม ▪ ช่วยลดปริมาณมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดขยะชุมชนแบบกองทิ้งกลางแจ้ง การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ ซึ่งช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกอันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจก ▪ สามารถใช้บำบัดขยะอินทรีย์ ในที่ซึ่งการฝังกลบขยะอินทรีย์ในพื้นที่ที่การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลไม่เป็นที่ยอมรับ ▪ สามารถลดปริมาณขยะชุมชนที่จะต้องกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย ▪ สามารถบำบัดร่วมกับของเสียอินทรีย์ประเภทอื่น (Co-digestion) เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ต่างๆ และของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	▪ บำบัดได้เฉพาะขยะอินทรีย์ จึงมีความจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เพื่อกำจัดขยะประเภทอื่น ▪ ใช้เวลาในการบำบัดนาน ▪ อาจมีปัญหาในการจัดการวัสดุบางประเภท เช่น พลาสติก ซึ่งมักพบว่ามีปะปนตกค้างอยู่ในผลผลิตสารปรับปรุงคุณภาพดินเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมาจากการคัดแยกจากขยะชุมชนโดยวิธีกล (Mechanical Separation)

ตารางที่ 2.19 สรุปข้อเด่น - ข้อด้อยของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ต่อ)

ข้อเด่น	ข้อด้อย
2) ทางด้านพลังงาน	
▪ เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดขยะชุมชนที่ผลิตพลังงานทดแทน ที่ได้รับ Carbon Credit โดยไม่มีการหกลดเนื่องจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบ ▪ วัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานที่ไม่สินเปลือง (renewable resource) ซึ่งช่วยลดการใช้เพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงานได้ ▪ การใช้ Digestate ทนแทนการใช้ปุ๋ยเคมี จะช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมได้ เนื่องจากกระบวนการในการผลิตปุ๋ยเคมีมีการใช้พลังงานสุง (Energy Insentive Process) ▪ เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดขยะชุมชนที่มีพลังงานส่วนเกิน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้า ให้ความร้อนแก่ Boiler ▪ มีศักยภาพในการผลิตพลังงานจาก "ขยะอินทรีย์" ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการเผา ▪ มีศักยภาพที่จะได้รับผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์สูง โดยเฉพาะเมื่อพลังงานชนิดอื่นมีราคาสูง และรัฐมีมาตรการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ	
3) ทางด้านต้นทุนและผลตอบแทน	
▪ เป็นเทคโนโลยีที่มีความคุ้มทุนสูงในเชิงเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายแบบ life cycle cost	▪ มีต้นทุนสูงกว่าเทคโนโลยีบำบัดขยะอินทรีย์โดยการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศในหลายๆ กรณี

2.2.2 เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas)

2.2.2.1 บทนำ

การกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบเป็นการนำขยะชุมชนฝังกลบในพื้นที่ซึ่งได้จัดเตรียมไว้ โดยใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะชุมชนยุบตัวลงจนมีความหนาแน่นของชั้นขยะชุมชนตามที่กำหนด จากนั้นใช้ดินบดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงนำขยะชุมชนมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องกลิ่น แมลง น้ำชะขยะและเหตุเดือดร้อนรำคาญอื่นๆ

หลุมฝังกลบขยะชุมชนจึงเปรียบเสมือนถังหมักขนาดใหญ่ โดยมีน้ำและขยะชุมชนอยู่ภายใน สิ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวคือ น้ำชะขยะและก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายองค์ประกอบสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะชุมชน ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะชุมชนที่ถูกฝังกลบในช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ ซึ่งเป็นการใช้อากาศที่แทรกอยู่ตามช่องว่างภายในบริเวณฝังกลบ และเมื่อออกซิเจนที่มีอยู่หมดลง การย่อยก็จะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศจนเกิดก๊าซขึ้น ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้แก่ ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้จะพบก๊าซชนิดอื่นๆปะปนอยู่ด้วยได้แก่ NH_3, CO, H_2, N_2, O_2, H_2S ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อก๊าซจากหลุมฝังกลบหรือ Landfill Gas ซึ่งมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนมากกว่า 50% จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานได้ โดยอาจใช้ในรูปของก๊าซดิบ (Raw Gas) ซึ่งมีค่าความร้อนปานกลาง หรือนำไปผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพให้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนมากขึ้น (Gas Upgrading) ก่อนนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยเครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) หรือกังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) ได้อีกด้วย

การกำจัดขยะชุมชนโดยวิธีการฝังกลบนั้นเป็นวิธีพื้นฐานในการกำจัดขยะชุมชนและใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก และมีการนำก๊าซจากหลุมฝังกลบมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานมากขึ้นซึ่งเทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบนั้นสามารถจำแนกตามวิธีการดำเนินงานฝังกลบขยะชุมชนได้เป็น 2 วิธี คือ การฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาลและการฝังกลบขยะชุมชนแบบ Bioreactor Landfill

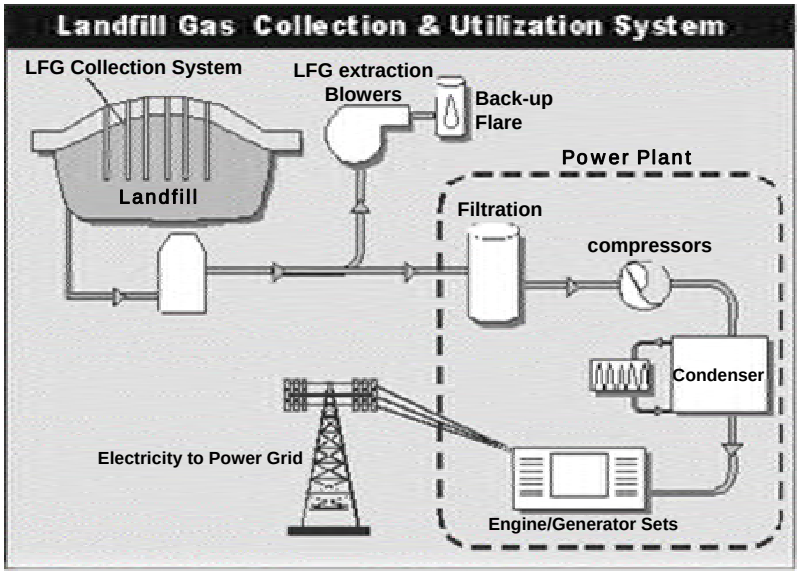
2.2.2.2 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill หรือ Conventional Landfill) เป็นการพัฒนาและปรับปรุงระบบฝังกลบขยะชุมชนเพื่อรวบรวมเอาก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic

Digestion) ภายในหลุมฝังกลบไปใช้ประโยชน์แทนการปล่อยสู่บรรยากาศเป็นก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) ที่ก่อให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก หรือภาวะโลกร้อน

1) องค์ประกอบ และหลักการทำงานในการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ในการดำเนินงานผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนนั้น มีหลักการดำเนินงานทั่วไป ดังในภาพที่ 2.26 ซึ่งมีองค์ประกอบและรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.26 แผนภาพการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ที่มา: http://www.ec.gc.ca/nopp/lfg/en/issue10.cfm

1.1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment System)

ระบบบำบัดขั้นต้นถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงลักษณะสมบัติของขยะชุมชนให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น วิธีการที่ใช้ได้แก่ การคัดแยก (Sorting) การบดย่อยขยะชุมชนให้มีขนาดเล็กลง (Shredding) ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบบำบัดข้างต้น คือ ลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนและกระตุ้นให้เกิดการยุบตัวลงของขยะได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาตรขยะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงช่วยลดระยะเวลาที่จะเกิดการปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อม (Reduction of Contamination Life Span) อีกด้วย

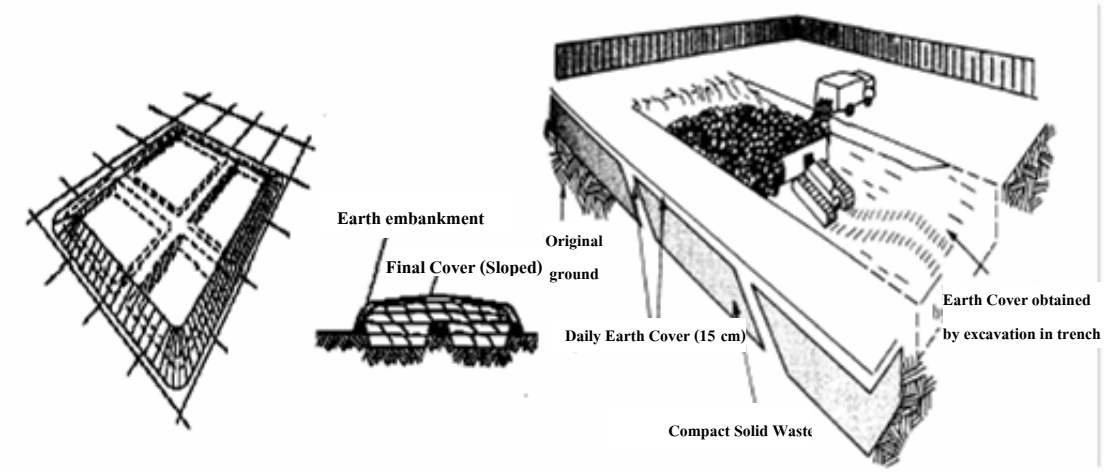
1.2) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ (Sanitary Landfill Operation)

การดำเนินงานฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาลมีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ ระบบฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method) การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) และการฝังกลบแบบบ่อ (Ramp Method) ซึ่งแต่ละประเภทมีการดำเนินงานดังนี้

(1) การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method) เป็นการฝังกลบที่เหมาะสมกับบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศที่ไม่เหมาะจะขุดเป็นร่องเพื่อฝังกลบขยะชุมชนโดยจะเทขยะและเกลี่ยเป็นแถวยาวกว้างประมาณ 3-7 เมตรไปบนพื้นที่เป็นชั้นๆ หนาชั้นละประมาณ 0.40 - 0.75 เมตร แล้วอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นถัดไป แล้วอัดทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ความหนาประมาณ 2 - 3 เมตร จากนั้นกลบดินบนชั้นขยะชุมชนหนาประมาณ 0.15 - 0.30 เมตร ทุกครั้งก่อนเลิกงานฝังกลบประจำวัน ลักษณะการดำเนินงานการฝังกลบแบบพื้นที่แสดงดังภาพที่ 2.27

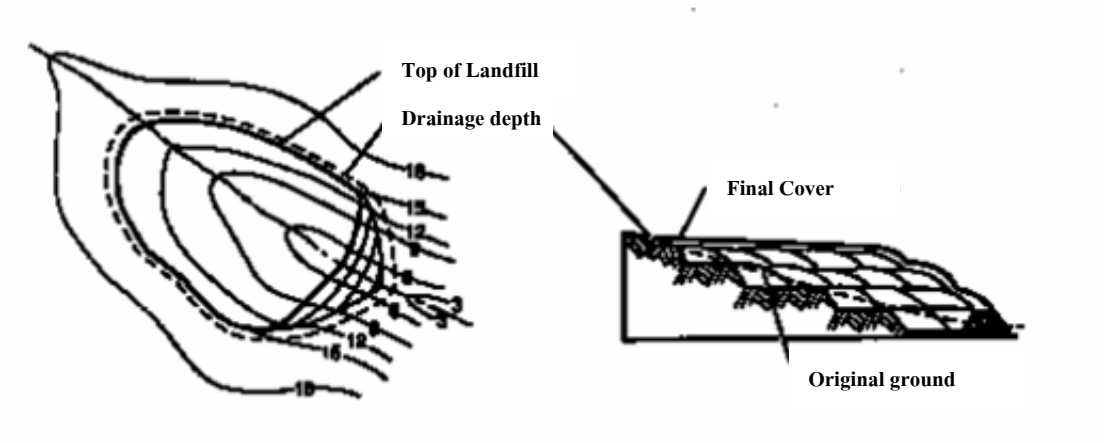
ภาพที่ 2.27 การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method)

(2) การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) เหมาะกับสถานที่ฝังกลบที่สามารถขุดและนำดินมากลบทับได้ และชั้นดินมีความหนาพอสมควร วิธีการดำเนินงานเริ่มจากการใช้รถขุดพื้นดินเป็นร่องยาวประมาณ 30 - 100 เมตร กว้าง 5 - 8 เมตร ลึก 2 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างของร่องเป็นเขื่อนดิน เมื่อขุดร่องไปตามต้องการแล้ว จึงเทขยะไปในร่องโดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 0.45 - 0.60 เมตร แล้วอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้ก่อนที่จะเทขยะชั้นต่อไปลงไปแล้วบดอัดใหม่เป็นชั้นทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ ความสูงของชั้นขยะตามต้องการดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 การฝังกลบแบบร่อง (Trench Method)

(3) การฝังกลบแบบบ่อหรือพื้นที่ลาดเอียง (Ramp Method) วิธีการฝังกลบแบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ลาดเอียงหรือเป็นหลุมบ่อขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากการขุด เช่น หุบเขา ห้วย บ่อดิน บ่อเหมือง หากพื้นที่ฝังกลบมีสภาพค่อนข้างราบ การฝังกลบในชั้นแรกอาจใช้วิธีแบบร่อง แล้วฝังกลบในชั้นถัดไป โดยอัดขยะเข้ากับสันบ่อหรือห้วยด้วยความลาดเอียง 2:1 เพื่อให้อัดขยะได้แน่นขึ้น ซึ่งในบางแห่ง วิธีนี้สามารถบดอัดขยะชุมชนได้จนมีความหนาแน่นถึง 780 กก./ลบ.ม. ในการฝังกลบขยะด้วยวิธีนี้ควรให้ความสูงของชั้นฝังกลบขั้นสุดท้ายอยู่เหนือระดับพื้นดินในบริเวณข้างเคียงเล็กน้อยซึ่งเมื่อมีการทรุดตัวของขยะในบริเวณฝังกลบก็จะทำให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับพื้นดินบริเวณข้างเคียง ลักษณะการดำเนินงานการฝังกลบขยะแบบบ่อหรือพื้นที่ลาดเอียงดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 การฝังกลบขยะแบบบ่อหรือห้วย หรือพื้นที่ลาดเอียง (Ramp Method)

1.3) กระบวนการในการเกิดก๊าซ และการคาดการณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

กระบวนการเกิดก๊าซจากหลุมฝังกลบช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนที่แทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างภายในชั้นฝังกลบจนกระทั่งออกซิเจนหมด กระบวนการย่อยสลายจึงเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนแทนโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดก๊าซชีวภาพซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วนใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ส่วนสารและก๊าซอื่นๆในปริมาณน้อย เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC's) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของขยะที่นำมาฝังกลบเป็นสำคัญ โดยทั่วไปกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นภายในไม่กี่สัปดาห์ภายหลังจากฝังกลบขยะและมีอัตราสูงขึ้นจนมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดในช่วง 2 ปีแรก (ภายใต้สภาวะปกติ) จากนั้นจะมีอัตราการย่อยสลายและอัตราการเกิดก๊าซช้าลงเป็นเวลาติดต่อกันประมาณ 20 ปี หลังการปิดพื้นที่ใช้งานสถานที่ฝังกลบ (Landfill Closure)

การคาดการณ์ปริมาณก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลโดยหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (U.S.EPA, 1996) เพื่อประเมินปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในเบื้องต้น สามารถทำได้หลายวิธี คือ การประมาณ (Rough Approximation) จากปริมาณขยะชุมชนที่นำมาฝังกลบ การโดยใช้แบบจำลองการย่อยสลายอันดับที่ 1 (First Oder Decay Model) และการประมาณการโดยใช้แบบจำลอง Waste In Place ซึ่งผลที่ได้จากการประมาณการทั้ง 3 วิธีจะให้ค่าที่แตกต่างกันซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบแสดงดังตารางที่ 2.20 อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มดำเนินการฝังกลบขยะชุมชนในพื้นที่แล้ว จึงควรที่จะมีแผนการตรวจวัดและติดตามตรวจสอบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบเพื่อหาปริมาณที่เกิดขึ้นจริง

ตารางที่ 2.20 การคาดการณ์ปริมาณก๊าซจากหลุมฝังกลบ

ปริมาณขยะชุมชนในพื้นที่ฝังกลบ (ล้านตัน)	ปริมาณก๊าซจากการคาดการณ์[1/] (ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี)		
	ค่าเฉลี่ย	First Order Decay model[2/]	Waste In Place Model
1.0	6	7-11	9-11
1.5	9	10-16	11-13
2.0	12	14-21	12-15
3.0	18	21-32	15-20

หมายเหตุ: [1/] Landfill gas recovered estimates incorporate, 75% collection efficiency for the first order decay and waste inplace method.

[2/] The estimates for the first decay order model are 10-year averages. The lower value is for the 10 years following closure of a landfill that was open for 20 years. The higher value is for the 10 years following closure of a landfillthat was open for 10 years. Waste acceptance is assumed to be constant during the open period. All estimatesuse the mid-point values for Lo and k for Medium Moisture Climate.

ที่มา: A Guideline for Methane Mitigation Projects, Gas-to Energy at Landfills and Open Dumps, Draft Version 2, U.S.EPA. (November, 1996)

1.4) ระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบ(Landfill Gas Collection System)

ระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ Passive System, Active System และ Physical Barrier โดยมีรายละเอียดของแต่ละประเภทดังนี้

(1) Passive System คือ การระบายก๊าซออกจากหลุมฝังกลบโดยอาศัยแรงดันที่เกิดขึ้นจากการผลิตก๊าซภายใน โดยการต่อท่อระบายก๊าซในแนวดิ่งเพื่อให้ก๊าซระบายออกไปเองเป็นระบบควบคุมก๊าซที่ง่ายที่สุดมักจะใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะขนาดเล็ก หรือใช้กับสถานที่ฝังกลบที่ปิดการใช้งานแล้ว (Closed Landfill Site) หรือใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณก๊าซในพื้นที่ฝังกลบขนาดใหญ่ระบบควบคุมก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบ Passive System ในภาพที่ 2.30 ประกอบด้วยการติดตั้งบ่อ (Wells) หรือท่อระบายก๊าซ (Vent) ภายในพื้นที่ฝังกลบหรือภายในพื้นที่ใกล้เคียงกับหลุมฝังกลบ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพสามารถระบายออกสู่บรรยากาศได้ดีที่สุด

ภาพที่ 2.30 ระบบควบคุมก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบ Passive System

(2) Active System คือ การใช้เครื่องจักรกลในการดูดก๊าซ เช่น เครื่องดูดอากาศ เพื่อระบายก๊าซออกไปจากหลุมอย่างรวดเร็ว การระบายก๊าซแบบนี้จะเป็นระบบปิดทั้งหมด ซึ่งมักถูกประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ ฝังกลบขยะชุมชนขนาดกลางหรือขนาดใหญ่เพื่อรวบรวมและนำก๊าซที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ แทนการระบายทิ้ง โดยลักษณะของระบบควบคุมก๊าซแบบ Active System ประกอบด้วย

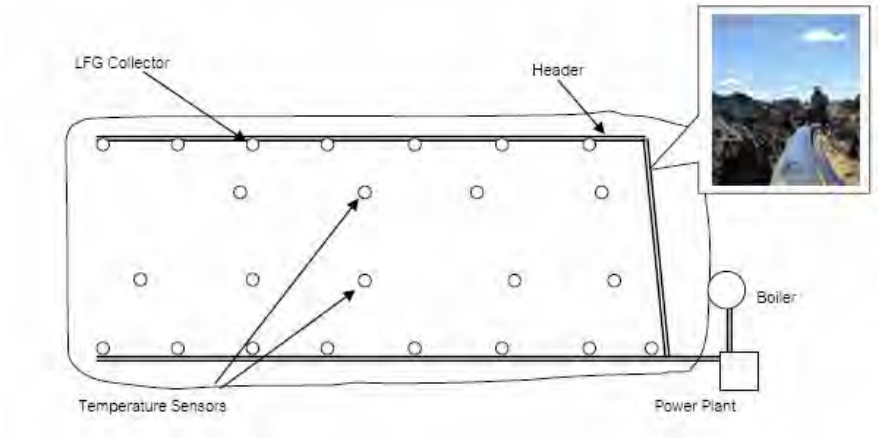
(2.1) Extraction Well แบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้

(2.1.1) Vertical Extraction เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบควรติดตั้งเมื่อเสร็จสิ้นจากการใช้งานสถานที่ฝังกลบแล้วโดยการเจาะลงไปในหลุมฝังกลบ วัสดุที่ใช้ในการทำท่อนั้นมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น PVC และ HDPE เป็นต้น โดยส่วนปลายด้านล่างของท่อเจาะรูเพื่อให้ก๊าซไหลเข้ามาภายในท่อตลอดปลายด้านล่างของบ่อจะถมด้วยกรวดรอบท่อ เพื่อให้ง่ายต่อการรวบรวมก๊าซเข้าสู่ท่อรวบรวมก่อนจะเปิดทับด้านบนให้สนิทเพื่อป้องกันอากาศไหลเข้าไปในหลุมฝังกลบ นอกจากนี้ยังสามารถติดตั้ง Vertical Extraction Well ในพื้นที่ฝังกลบในขณะที่ยังใช้งานพื้นที่ฝังกลบได้เช่นเดียวกัน โดยการติดตั้งท่อเหล็กสามารถเพิ่มความยาวเมื่อชั้นฝังกลบสูงขึ้นเรื่อยๆ ก๊าซที่เกิดจะถูกรวบรวมผ่านท่อเหล่านี้โดยใช้ท่อเมน (Headers) และท่อแขนง (Laterals) ชั่วคราวก่อนส่งเข้าสู่ระบบใช้จากก๊าซชีวภาพ หรือต่อท่อเหล่า นี้เข้ากับ Passive Flare

(2.1.2) Horizontal Collectors ระบบท่อรวบรวมก๊าซในแนวนอนนี้จะช่วยในการรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลักษณะของท่อที่ใช้เป็นท่อที่เจาะรูโดยรอบมีระยะห่างเท่าๆ กัน หรือเป็นท่อที่มีลักษณะต่างๆ กัน แต่มาต่อกันเป็นท่อแขนง โดยการติดตั้งในการรวบรวมท่อแนวนอนนี้จะโรยกรวดรอบท่อดเพื่อให้รวบรวมก๊าซได้ดีขึ้น

(2.1.3) ระบบรวบรวมแบบผสมผสาน (Hybrid Collection System) ระบบรวมรวมก๊าซ แบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Norfolk Pine Extraction Well ประกอบด้วยระบบ ท่อรวบรวมก๊าซในแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งการติดตั้งท่อรวบรวมในแนวดิ่งที่ใช้จะเป็นแบบติดตั้งในพื้นที่ฝังกลบ (In-site Vertical Extraction Wells) ซึ่งการติดตั้งแบบนี้จะช่วยรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพลักษณะการติดตั้งท่อรวบรวมก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบ

นอกเหนือจากระบบท่อรวบรวมก๊าซแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ระบบควบคุมก๊าซแบบ Active System ยังประกอบด้วยระบบต่างๆ ได้แก่ Header System (ภาพที่ 2.31), Condense System, Blower/Flare System (ภาพที่ 2.32) และอุปกรณ์ในการใช้ประโยชน์จากก๊าซรวมทั้งระบบตรวจสอบการรั่วไหลของก๊าซ (Perimeter system) และระบบควบคุมก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบ Physical Barrier ที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันก๊าซแพร่กระจายออกทางผิวหน้าของหลุมฝังกลบ เป็นต้น



ภาพที่ 2.31 การติดตั้ง Header System ในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชน

ส่วน Final Landfill Gas Flare ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Enclosed Ground Flare โดยจะมีการติดตั้งเมื่อปริมาตรของก๊าซจากหลุมฝังกลบมีมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการเผาไหม้ก๊าซส่วนเกิน และเผาไหม้ก๊าซทิ้งในกรณีที่ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซไม่สามารถทำงานได้ เช่น ในช่วงของการบำรุงรักษาระบบประจำปี

1.5) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซจากหลุมฝังกลบ (Gas Utilization System)

การใช้การใช้ประโยชน์ก๊าซจากหลุมฝังกลบในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นเริ่มตั้งแต่ปี 1980 โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่นิยมใช้ทั่วๆไป ได้แก่ กังหันก๊าซ (Gas Turbine) Dual Fuel Compression Ignition Engine และ Spark Ignition Engine โดยขนาดของเครื่องยนต์ใช้งานมีตั้งแต่ 100 kW ขึ้นไป โดยการเลือกใช้เครื่องยนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซควรพิจารณาจาก อัตราการผลิตก๊าซจากหลุมฝังกลบ และคุณสมบัติของก๊าซที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ความพร้อมจ่ายของระบบผลิตไฟฟ้า ข้อกำหนดของเครื่องยนต์ในการบำบัดก๊าซเบื้องต้น ความต้องการดูแลและรักษาระบบ ความคุ้นเคยของผู้ควบคุมระบบกับระบบที่เลือกใช้ และความยืดหยุ่นของระบบ ตลอดจนอายุการใช้งาน และราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาระบบ

ภาพที่ 2.32 ลักษณะการติดตั้ง Final Blower/Flare Station แบบ Enclosed Flaring System

การใช้ประโยชน์ก๊าซจากหลุมฝังกลบมีอยู่ 3 ทางเลือก คือ 1) การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียง (Local Gas Use) 2) การผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity Generation) และ 3) การส่งเข้าสู่ระบบท่อก๊าซ (Pipeline Injection) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวในรายละเอียดเฉพาะการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่านั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ ได้แก่ Internal Combustion Engine (IC Engine) และกังหันก๊าซ (Gas Turbine)

(1) Internal Combustion Engine (IC Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไป ระบบจะติดตั้งอยู่กับที่ (Stationary Engine) และใช้ก๊าซคุณภาพปานกลางในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีกำลังผลิตในช่วง 30 -2,000 kW เหมาะกับสถานที่ฝังกลบที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีความยืดหยุ่นของการทำงานของระบบสูง อย่างไรก็ตาม ระบบ IC Engine มีข้อจำกัดในเรื่องของสารปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพ เช่น Chlorinated Hydrocarbon ซึ่งจะทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นภายใต้สภาพการเดินเครื่อง IC Engine ที่อุณหภูมิและความดันสูง หรือทำให้เครื่องยนตสึกกร่อน นอกจากนี้อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง (Air: Fuel Ratio) ของก๊าซจากหลุมฝังกลบยังมีค่าแปรปรวนขึ้นอยู่กับคุณภาพของก๊าซ ซึ่งจะทำให้ระบบมีปัญหาได้ เนื่องจากเครื่องยนต์ IC Engine ไม่ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอากาศ:เชื้อเพลิง และเครื่องยนต์ IC Engine บางประเภทจะก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) ทำให้ต้องมีระบบการควบคุมการปล่อยออก NO_X ด้วย

(2) กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ใช้ก๊าซคุณภาพปานกลางในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อขายหรือใช้ภายในโครงการ ซึ่งต้องการปริมาณก๊าซในการดำเนินงานสูงกว่าระบบ IC Engine เพื่อให้เกิดความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสำหรับใช้งานในสถานที่ฝังกลบขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดของเครื่องยนต์ก๊าซที่ใช้งานมีตั้งแต่ขนาด 500 kW ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ขนาดที่มีใช้งานทั่วไปสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะชุมชนคือ 2-4 MW (U.S.EPA., 1993)

เมื่อพิจารณาทางด้านความคุ้มทุนของทั้งสองระบบแล้ว จะพบว่าระบบกังหันก๊าซจะใช้ปริมาณก๊าซในการผลิตไฟฟ้ามากกว่าเครื่องยนต์แบบ IC Engine ดังนั้นกังหันก๊าซจึงเหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซจากสถานที่ฝังกลบขนาดใหญ่ โดยจะต้องเดินเครื่องด้วยอัตราคงที่ ไม่สามารถเปิด-ปิดเครื่องตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันได้ นอกจากนี้กังหันก๊าซยังเหมาะกับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อส่งจ่ายให้กับระบบสายส่งอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ส่วนระบบ IC Engine นั้นเป็นระบบที่สามารถปิด-เปิดเครื่องได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้งานในพื้นที่มากกว่า ดังมีแนวทางในการประเมินทางเลือกการใช้ประโยชน์ก๊าซจากหลุมฝังกลบสรุปตารางที่ 2.21

ตารางที่ 2.21 สรุปการประเมินความเหมาะสมสำหรับหารผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ทางเลือกในการผลิตพลังงาน	**ปริมาณขยะชุมชนขั้นต่ำในพื้นที่ฝังกลบ[1/] (ล้านตัน)**	**คุณภาพก๊าซชีวภาพ[2/] (% มีเทนต่ำสุด)**	**การใช้ประโยชน์การใช้งาน**
▪ การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ (Local Gas Use)			
-ใช้ประโยชน์ในพื้นที่โครงการหรือพื้นที่ใกล้เคียง	1	35%	- การใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียง(นอกโครงการ) ควรอยู่ในรัศมีไม่เกิน 3 กิโลเมตร จากโครงการ - การใช้ประโยชน์ในพื้นที่โครงการ เหมาะสมสำหรับโครงการที่มีความต้องการใช้ พลังงานมาก โดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ
▪ การผลิตพลังงานไฟฟ้า(Electricity Generation)			
- IC (Reciprocating) Engines	1.5	40%	- ต้องมีระบบสายส่ง โดยไฟฟ้าที่ขายจากโครงการจะต้องมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ของผู้ใช้ - การใช้งานในพื้นที่โครงการ จะเหมาะสมกับพื้นที่โครงการที่มีการใช้งานเครื่องอำนวย ความสะดวกที่ใช้ไฟฟ้า
- Gas Turbine	2	40%	- ต้องมีระบบสายส่ง โดยไฟฟ้าที่ขายจากโครงการจะต้องมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ ของผู้ใช้ - -การใช้งานในพื้นที่โครงการ จะเหมาะสมกับพื้นที่โครงการที่มีการใช้งานเครื่องอำนวย ความสะดวกที่ใช้ไฟฟ้า

ทางเลือกในการผลิตพลังงาน	ปริมาณขยะชุมชนขั้นต่ำในพื้นที่ฝังกลบ[1/] (ล้านตัน)	คุณภาพก๊าซชีวภาพ[2/] (% มีเทนต่ำสุด)	การใช้ประโยชน์การใช้งาน
▪ ระบบ Pipeline Injection			
-ก๊าซคุณภาพปานกลาง(Medium Quality Gas Pipelines) -ก๊าซคุณภาพสูง(High Quality Gas Pipelines)	1 1	30-50% 95%	- มีความเป็นไปได้ในการวางเครือข่ายท่อส่งก๊าซและความสามารถในการส่งก๊าซ - ต้องการระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซจากหลุมฝังกลบ มีความเป็นไปได้สำหรับ การว่างเครือข่ายท่อส่งก๊าซและความสามารถในการส่งก๊าซ
▪ อื่นๆ			
-การเผาทิ้ง	ใช้กับสถานที่ฝังกลบทุกขนาด	20%	- สามารถใช้งานได้กับสถานที่ฝังกลบขยะชุมชนทุกขนาด

หมายเหตุ: 1/ ปริมาณขยะชุมชนขั้นต่ำในพื้นที่ฝังกลบที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 10 ปี ทั้งนี้ตามแนวทางเลือกที่นำเสนอมานั้นจะต้องมีปริมาณขยะชุมชนอย่างน้อย 500,000 ตัน

2/ อ้างอิงจาก Department of Trade and Industry (1993), Guidelines for the Safe Control and Utilization of Landfill Gas, Energy Technology Support Unit (ETSU), Report: ETSUB 1296, United Kingdom, 1993

ที่มา: A Guide for Methane Mitigation Projects: Gas to Energy at Landfill and Open Dumps (Draft Report), U.S.EPA., November 1996

2) ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม

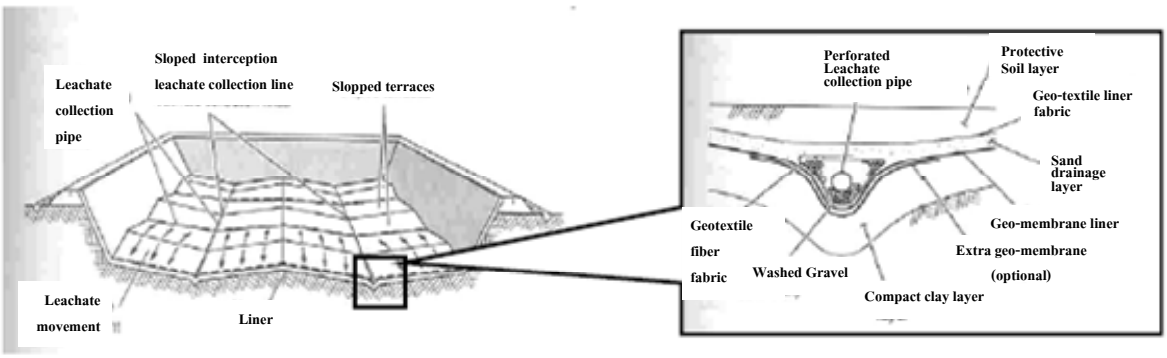
การย่อยสลายขยะชุมชนในพื้นที่ฝังกลบ นอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพแล้ว ยังเกิดน้ำชะขยะจากความชื้นหรือน้ำอิสระที่อยู่ในองค์ประกอบของขยะชุมชนและเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงที่ตกลงบริเวณหลุมฝังกลบและซึมผ่านชั้นดินกลบทับลงไปจนถึงชั้นขยะ น้ำชะขยะนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับน้ำใต้ดินตามมาได้ ดังนั้นสถานที่ฝังกลบจึงต้องมีการออกแบบระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย ได้แก่

2.1) ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะ

ในการจัดการระบบฝังกลบขยะที่ดี จะต้องพิจารณาการควบคุมก๊าซที่เกิดขึ้นควบคู่ไปพร้อมกับการจัดการน้ำชะขยะด้วย โดยเก็บกักไว้ในชั้นฝังกลบ หรือระบายออกทางด้านล่างเพื่อนำไปบำบัดก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำต่อไป การควบคุมน้ำชะขยะไม่ให้ไหลซึมออกนอกพื้นที่ฝังกลบ คือ การใช้วัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ยากเป็นวัสดุรองพื้นโดยรอบบริเวณฝัง กลบ เช่น ดินอัด ดินเหนียวอัด สารเคมีอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต ซิลิเกต ไพโรฟอสเฟต เป็นต้น สารเคมีสังเคราะห์ ได้แก่ โพลิเมอร์ ยางลาเท็กซ์ เป็นต้น แผ่นรองพื้นทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่นโพลีไวนิล-คลอไรด์ ยางบิวทิล โพลีเอทิลีน ไนลอน เป็นต้น และการใช้ยางมะตอย หรือ แอสฟัลท์ เป็นวัสดุรองพื้น นอกจากนี้ยังต้องมีการควบคุมไม่ให้น้ำจากภายนอกไหลเข้าสู่ชั้นขยะได้ง่ายโดยการใช้ดินกลบที่มีคุณสมบัติน้ำซึมผ่านได้ยากกลบชั้นขยะโดยให้มีความลาดเอียงประมาณร้อยละ 1-2 และจัดให้มีการระบายน้ำโดยรอบบริเวณฝังกลบอย่างเพียงพอ

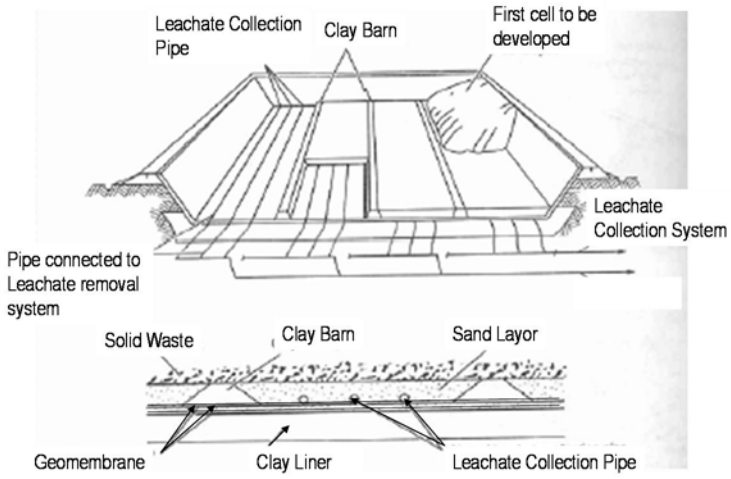
ระบบการปูรองพื้นเพื่อป้องกันน้ำชะขยะซึมเข้าหรือออกจากชั้นฝังกลบขยะสามารถทำได้หลายรูปแบบ ได้แก่ Single-Composite Barrier Types และ Double-Composite Barrier Types ซึ่งในการเลือกใช้วัสดุปูรองพื้นและระบบการปูรองพื้นแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยา และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่จะใช้เป็นสถานที่ฝังกลบ

ออกแบบระบบรวบรวมน้ำชะขยะ จะต้องพิจารณาถึงความลาดเอียงของพื้นที่และระบบการวางท่อ เพื่อรวบรวมน้ำชะขยะที่ก้นหลุมโดยความลาดชันของพื้นที่ (Sloped Terraces) ด้านล่างของชั้นฝังกลบจะช่วยป้องกันการขังของน้ำชะขยะชุมชนที่ก้นบ่อฝังกลบได้ บริเวณรอยต่อระหว่างที่ลาด (Terrace) แต่ละช่วงจะมีลักษณะเป็นร่องเพื่อรวบรวมน้ำเสีย โดยความลาดชันของที่ลาดก้นหลุมฝังกลบขยะจะอยู่ในช่วงร้อยละ 1 - 5 ส่วนความลาดชันของช่องระบายน้ำจะอยู่ระหว่างร้อยละ 0.5 - 1 ดังในภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 ลักษณะความลาดชันของพื้นหลุมฝังกลบขยะเพื่อวางระบบรวบรวมน้ำชะขยะ

สำหรับการวางท่อรวบรวมน้ำชะขยะนั้นจะมีการแบ่งพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชนออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าย่อยๆ (ภาพที่ 2.34) โดยใช้ดินเหนียวทำเป็นคันดินกั้นระหว่างพื้นที่ย่อยๆ ท่อรวบรวมน้ำชะขยะที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เจาะเป็นรูที่มีระยะห่างเท่าๆ กันตลอดแนวท่อจะถูกวางลงบนก้นหลุมฝังกลบขยะที่ปูรองพื้นหลังแล้วในแต่ละห้องย่อยจากนั้นกลบทับด้วยทรายอีกชั้นหนาประมาณ 0.60 เมตร



ภาพที่ 2.34 การวางแนวท่อรวบรวมน้ำชะขยะในพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชน

ก่อนเริ่มฝังกลบขยะชุมชนเพื่อให้การระบายน้ำชะขยะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ควรวางท่อให้มีความลาดชันประมาณร้อยละ 1.2 - 1.8 โดยมีระยะห่างระหว่างท่อประมาณ 6 เมตร โดยวิธีการส่งผ่านน้ำชะขยะชุมชนที่รวบรวมได้ออกนอกพื้นที่ฝังกลบนั้นมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือการรวบรวมน้ำชะขยะแล้วส่งผ่านทางด้านข้างของพื้นที่ฝังกลบ และการส่งผ่านทางด้านบนของพื้นที่ฝังกลบไปยังบ่อพักหรือระบบบำบัดน้ำชะขยะต่อไป

การจัดการน้ำชะขยะมีทางเลือกในการจัดการดังต่อไปนี้ (1) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Leachate Recycling) ซึ่งเป็นการรวบรวมและนำน้ำชะขยะที่รวบรวมได้หมุนเวียนกลับมาใช้ในพื้นที่ฝังกลบอีกครั้ง ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดใน Bioreactor Landfill ต่อไป (2) การระเหยน้ำชะขยะ (Leachate Evaporation) เป็นวิธีการจัดการน้ำชะขยะที่ง่ายอีกวิธีหนึ่งโดยการกักพักน้ำชะขยะในบ่อที่มีการปูรองพื้นด้วยวัสดุกันซึม และปล่อยทิ้งไว้ให้ระเหยโดยธรรมชาติ (3) การบำบัดน้ำชะขยะ (LeachateTreatment)

ในกรณีที่ไม่สามารถหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับมาใช้ใหม่ได้หรือไม่สามารถใช้วิธีการระเหยโดยธรรมชาติ ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) หรือการบำบัดอย่างสมบูรณ์ (Complete Treatment) จึงเป็นทางเลือกในการจัดการน้ำชะขยะ แต่เนื่องจากลักษณะสมบัติของน้ำขยะมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจึงมีควาหลากหลายเช่นเดียวกัน วิธีการบำบัดหลักๆ ที่ใช้งานกันอยู่ ได้แก่ การบำบัดด้วยวิธีทางชีววิทยา (Biological Treatment) การบำบัดทางกายภาพและ/หรือเคมี (Physical/Chemical Treatment ซึ่งการเลือกใช้วิธีการบำบัดใดนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำชะขยะหรือสิ่งเจือปนที่ต้องการกำจัดออกเป็นหลัก

2.2) ระบบติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน

เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบจะต้องติดตั้งบ่อตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินทั้งเหนือและท้ายน้ำตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อติดตามตรวจสอบสารปนเปื้อนอาจเกิดจากการรั่วซึมของน้ำชะขยะ ซึ่งตัวอย่างการติดตั้งบ่อติดตามคุณภาพน้ำใต้ดิน

2.3) การปิดพื้นที่ฝังกลบ (Cover Systems)

การปิดพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) การปิดชั้นฝังกลบรายวัน (Daily Cover) เป็นการปิดทับขยะชุมชนที่นำมาฝังกลบในแต่ละวัน เพื่อป้องกันปัญหาเหตุเดือดร้อนรำคาญเนื่องจากกลิ่น การคุ้ยเขี่ยขยะ แมลง ไฟไหม้ หรือการไหลซึมของน้ำสู่ชั้นฝังกลบขยะ ความหนาของชั้นดินปิดทับรายวันประมาณ 0.15-0.30 เมตร 2) Intermediate Cover เป็นการ ปิดชั้นฝังกลบขยะบริเวณด้านบนและด้านข้างของชั้นฝังกลบ เพื่อกันความเสียหายเนื่องจากการขนส่งโดยรถเก็บขนขยะและสภาพภูมิอากาศ รวมถึงป้องกันการระบายก๊าซจากหลุมฝังกลบด้วย และ 3) คือ การปิดชั้นฝังกลบขั้นสุดท้าย (Final Cover) เป็นการปิดชั้นฝังกลบเมื่อทำการฝังกลบขยะชุมชนจนได้ระดับที่ออกแบบไว้แล้ว เพื่อป้องกันการซึมของน้ำฝนเข้าสู่ชั้นฝังกลบ และการรั่วไหลของก๊าซจากหลุมฝังกลบ เมื่อทำการปิดชั้นฝังกลบขั้นสุดท้ายเสร็จสิ้นแล้วต้องมีการปลูกพืชคลุมทับอีกครั้งตามเกณฑ์มาตรฐานการปิดพื้นที่ฝังกลบแต่ละแบบไว้ดังภาพที่ 2.35

ภาพที่ 2.35 การปิดพื้นฝังกลบ

3) ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบ

จากการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะจำเพาะของจำนวนแบคทีเรียในพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชนโดย Westlake ในปี 1990 พบว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างมากระหว่างพื้นที่ฝังกลบแต่ละแห่ง แต่ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบ ได้แก่

(1) องค์ประกอบขยะชุมชน (Waste Composition)

เนื่องจากก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะชุมชนแล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซ ดังนั้นหากในขยะชุมชนมีปริมาณขององค์ประกอบสารอินทรีย์มากย่อมทำให้มีก๊าซมีเทนมากเช่นกัน

(2) สภาพแวดล้อมแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Environment)

การย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งการกลบทับชั้นขยะชุมชนด้วยวัสดุกลบ (Cover Material) ในกระบวนการฝังกลบ จะทำให้เกิดสภาวะดังกล่าวและทำให้มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น

(3) ความชื้น (Moisture Content)

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยน้ำจะถูกนำไปใช้เป็นตัวกลางในการสร้างเซลล์หรือกระบวนการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย รวมทั้งเป็นตัวกลางในการลำเลียงอาหารและแบคทีเรียในหลุมฝังกลบขยะโดยปริมาณความชื้นในหลุมฝังกลบขยะจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นเริ่มต้นของขยะชุมชนที่นำมาฝังกลบ ปริมาณน้ำที่ซึมจากผิวดินและน้ำใต้ดิน รวมทั้งปริมาณน้ำที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของขยะ

(4) สภาพความเป็นกรด (Acidity)

เนื่องจากระบบการดำรงชีพของจุลินทรีย์เหล่านี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 หากค่าพีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.50 จะส่งผลอัตราการผลิตก๊าซลดลงอย่างรวดเร็ว

(5) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน จากศึกษาโดย Pacey และ DeGier ในปี 1986 พบว่า ช่วงอุณหภูมิที่มีอัตราการผลิตมีเทนสูงสุดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60 °C แต่แบคทีเรียสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำ คือ 10-60 °C ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการย่อยสลายขยะในพื้นที่ฝังกลบขยะชุมชนจะทำให้เกิดความร้อนที่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิเหมาะสมกับกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน

นอกจากปัจจัยที่กล่าวในข้างต้นแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณและอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ได้แก่ ความหนาแน่นของขยะชุมชน การออกแบบสถานที่ ฝังกลบขยะชุมชน และปัจจัยอื่นๆ ที่มีนัยสำคัญ

4) การศึกษาข้อมูลด้านการลงทุนและผลได้จากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน

ต้นทุนการลงทุนในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณก๊าซชีวภาพและเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้สามารถสรุปประมาณค่าลงทุนเบื้องต้น ดังสรุปในตารางที่ 2.22 และตารางที่ 2.23

ตารางที่ 2.22 การประมาณราคาลงทุนและค่าดำเนินงานระบบระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบ

รายละเอียด[1/]	**ปริมาณขยะชุมชนในพื้นที่ฝังกลบ**				
	<1 ล้านตัน	**1-2.5 ล้านตัน**	**2.5-3.5 ล้านตัน**	**3.5-5 ล้านตัน**	**>5 ล้านตัน**
ค่าลงทุน(Capital Cost) : เหรียญสหรัฐ/ตันขยะชุมชน					
- Collection Field-wells	0.8-1.5	0.45-0.90	0.40-0.50	0.350-0.45	0.250-0.40
- Collection Field-trenches	1.10-2.10	0.55-1.20	0.40-0.60	0.40-0.50	0.20-0.40
- Gas Plant	0.25-0.50	0.20-0.30	0.15-0.25	0.15-0.20	0.10-0.20
- Blowers	0.20-0.35	0.10-0.20	0.10-0.15	0.10-0.15	0.05-0.10
- Flaring	0.40-0.75	0.30-0.40	0.15-0.35	0.20-0.25	0.15-0.20
- Total Collection System-wells	1.65-3.10	1.05-2.10	0.80-1.25	0.80-1.00	0.55-0.90
-Total Collection System-Trenches	1.95-3.70	1.15-2.10	0.80-1.25	0.85-1.05	0.50-0.90
- Monitoring (เหรียญสหรัฐ/ปี)	25,000-35,000	30,000-30,000	40,000-60,000	50,000-100,000	60,000-120,000
-Operation and Maintenance (เหรียญสหรัฐ/ปี)	60,000-95,000	70,000-110,000	90,000-170,000	140,000-250,000	160,000-275,000
- Extraction Test Program (เหรียญสหรัฐ/ปี)	40,000-60,000	50,000-90,000	60,000-100,000	70,000-110,000	100,000-125,000

รายละเอียด[2/]	**ปริมาณขยะชุมชนในพื้นที่ฝังกลบ**		
	1 ล้านตัน	**5 ล้านตัน**	**10 ล้านตัน**
ค่าลงทุน (Capical Cost) : เหรียญสหรัฐ	628,000	2,088,000	3,599,000
ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาต่อปี: เหรียญสหรัฐ	89,000	152,000	218,000

หมายเหตุ: 1/ ค่าลงทุนและดำเนินงานในประเทศแคนาดา

2/ ค่าลงทุนและดำเนินการในสหรัฐอเมริกา

ที่มา: 1/ Landfill Gas Utilization – City of Edmonton and EPCOR Utilities Inc.: สืบค้นจาก http://www.climatechangesolutions.com/municipal/waste/tools

2/ Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook, Landfill Methane Outreach Program, U.S. EPA, September 1996.

ตารางที่ 2.23 การประมาณต้นทุนลงทุนและค่าดำเนินงานระบบผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบ

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงาน	**ปริมาณขยะชุมชนในพื้นที่ฝังกลบ (ล้านตัน)**	**ค่าลงทุน * (เหรียญ/ตันขยะ)**	**ค่าลงทุน ** (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์)**	**ค่าO&M รายปี (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์/ปี)**
1. ค่าลงทุนและดำเนินงานในประเทศแคนาดา[1/]				
- Boiler/Steam Turbine	>6	1.00-1.50	830-1,200	45-70
- Combined Cycle	>10	1.10-1.60	900-1,300	50-85
- Reciprocating Engine	1-8	1.10-1.60	1,200-1,700	150-180
- Gas Turbine	3-12	1.30-1.65	1,400-2,000	90-120
2.ค่าลงทุนและดำเนินงานในประเทศสหรัฐอเมริกา[2/]		ค่าลงทุน (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์)	ค่าO&M (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์-ชม)	
- Reciprocating Engine	> 1	1,100-1,300	0.018	-
- Combined Turbine	> 3	1,200-1,700	0.013-0.016	-
- Boiler/Steam Turbine	> 8	2,000-2,500	0.010-0.020	-

หมายเหตุ: * ค่าลงทุนต่อตันขยะประมาณการจากขนาดของโครงการที่เหมาะสมกับปริมาณขยะ

** ค่าลงทุนต่อกิโลวัตต์ที่ผลิตได้ ประมาณการจากการตั้งสมมติฐานขนาดของโครงการและประสิทธิภาพของระบบ

ที่มา: 1/ http://www.climatechangesolutions.com/municipal/waste/tools/Ifg3.html?

2/ Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook, Landfill Methane Outreach Program, U.S. EPA. September 1996.

5) การเปรียบเทียบข้อเด่น-ข้อด้อยของเทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาลแสดตารางดังตารางที่ 2.24

ตารางที่ 2.24 สรุปข้อเด่น-ข้อด้อยของการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ข้อเด่น	ข้อด้อย
1. ด้านเทคนิค ▪ สามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซได้หลายทาง เช่น การนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนก๊าซธรรมชาติ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในงานอุตสาหกรรมใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะโดยผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซและทำให้เป็นของเหลว ผลิตเป็นอาธานอล และใช้เป็นแหล่งไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง(Fuel Cell) ▪ ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้ก๊าซเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ▪ ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเจ้าของโครงการเนื่องจากมีรายได้จากการขายไฟฟ้ามาทดแทน	1. ด้านเทคนิค ▪ ต้องการพื้นที่ที่ใช้ในการดำเนินงานมาก ▪ ต้องการเจ้าหน้าที่ควบคุมการดำเนินงานที่มีทักษะความรู้ในการดำเนินงานมีราคาค่าลงทุนระบบสูง ▪ ใช้เวลาในการเกิดก๊าซนานเมื่อเทียบกับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. ด้านสิ่งแวดล้อม ▪ ช่วยลดปัญหาด้านเหตุเดือดร้อนรำคาญเนื่องจากกลิ่น ▪ ลดการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ▪ ลดปัญหาความเสี่ยงของความเป็นพิษและสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic Substance) ในก๊าซจากหลุมฝังกลบ ▪ ลดความเสี่ยงจากการเกิดระเบิดและไฟไหม้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบ ▪ ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบขยะ	2. ด้านสิ่งแวดล้อม ▪ อาจก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนน้ำใต้ดินได้จากการรั่วซึมจากพื้นที่ฝังกลบ เนื่องจากวัสดุปูรองพื้นกันซึมสิ้นสุดอายุการใช้งาน

ที่มา: Landfill Gas Utilization – City of Edmonton and EPCOR Utilities Inc.

สืบค้นจาก http://www.climatechangesolutions.com

จากการรวบรวมข้อมูลโดยที่ปรึกษาพบว่ากลุ่มประเทศที่มีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน ได้แก่ ยุโรป ออสเตรเลีย และประเทศในแถบเอเชีย ดังแสดงในตารางที่ 2.25

ตารางที่ 2.25 โครงการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนในปัจจุบัน

ชื่อที่ตั้ง	ประเทศ	ปริมาณขยะ(ตัน)	การใช้งาน		เจ้าของโครงการ	การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ	Capacity	หมายเหตุ
			เปิด	ปิด				
Monterry Landfill LFGTE	เมกซิโก[1/]	8,000,000	1991	-	The World Bank	- ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบน้ำประปา และระบบไหลตามถนนสาธารณะ	6 MW	- ปริมาณขยะหลังจากเปิดดำเนินการแล้วประมาณ 9 ปี - พื้นที่ 110 เอเคอร์
Sang – Am Landfill to Enery	South Korea[1/]	92 ล้านลูกบาศก์เมตร	19798	1993	Korea District Heating Engineering Company, Ltd	- ผลิตน้ำร้อนสำหรับอาคารพานิชย์ที่อยู่ภายในเขตการดูแลของ The city District Heating Gnd	ไม่ระบุ	-Closed landfill
Part Mann Landfill to Energy	Canada[2/]	4,000,000	1969	1997	The City of Surrey	- ปริมาณมีแทนที่เกิดขึ้น - ผลิตพลังงานความร้อนสำหรับบ้านพัก 1,100 หลังคาเรือน โดย ผสมกับก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับ Drying Kin และ Calciner	- 1,522,000m (57%CH_4) - พลังงาน 54,771,000,000 BTU 150 BTU/หลัง/ปี	-Closed Landfill -Gas Utilization เริ่มปี 1993
Cambridge Landfill Gas to Energy Project	Canada[2/]	2,650,000 ล้าน ปัจจุบันมีปริมาณขยะ 2,500,000 ล้าน	1970	2003	Region of Waterloo	- ปริมาณแทนที่เกิดขึ้น - ผลิตพลังงาน ความร้อน	-4,800,000m^3 (52% CH_4) 156,000,000,000 BTU	-Gas Utilization เริ่มปี 1993
Coquitam Landfill Gas to Energy	British Columbia Canada[2/]	2,000,000 ตัน	1975	1983	The Greater Vancouver Regional District (GVRD)	- ปริมาณแทนที่เกิดขึ้น - ผลิตพลังงาน ความร้อนสำหรับบ้านเรือน 200 หลังคาเรือน โดย ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซธรรมชาติใน Boiler	- 290,000 m^3 (45% CH_4) - 10,000,000 BTU	-Closed Landfill -Gas Utilization เริ่มปี 1993

ตารางที่ 2.25 โครงการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนในปัจจุบัน (ต่อ)

ชื่อที่ตั้ง	ประเทศ	ปริมาณขยะ (ตัน)	การใช้งาน		เจ้าของโครงการ	การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ	Capacity	หมายเหตุ
			เปิด	ปิด				
waterloo Landfill	Canada[2/]	12,000,000 ล้าน ปัจจุบันมีปริมาณขยะ 6,000,000 ตัน	1972	2026	The Regional Municipality of Waterloo (Region)	- ปริมาณมีแทนที่เกิดขึ้น - ผลิตพลังงานโดยใช้ IC Engine จำนวน 4 ตัว	-9,500,000 m^3 (53%CH_4) - 28,600,000 KW-hr	-Gas Utilizationn เริ่มปี 1993
Optigaz Inc.	Canada[2/]	3,500,000 ตัน	1980	1990	Highiland Energy Inc.	- ปริมาณมีแทนที่เกิดขึ้น - ผลิตพลังงานโดยใช้ IC Engine จำนวน 2 ตัว	-3,652,500 m^3 (53%CH_4) 14,025,600 KW-hr	-Closed Landfill -Gas Utilizationn เริ่มปี 1993
Clover Bar	Canada[2/]	13,200,000 ตัน ปัจจุบันมีขยะ 12,000,000 ตัน	1975	2013	Environmental Technologies Inc. (ETI)	- ปริมาณมีแทนที่เกิดขึ้น - พลังงานที่ผลิตระดับเดียวกัน	12,500,000m^3 (53%CH_4) - 43,500,000 KW-hr	-Closed Landfill -Gas Utilizationn เริ่มปี 1993
Brock West	Canada[2/]	1,800,000 ตัน	1975	1997	The City of Toranto	- ปริมาณมีแทนที่เกิดขึ้น - พลังงานที่ผลิตได้โดยใช้ Boiller Steam Turbine และ Generator	40,600,000m^3 (53%CH_4) - 43,500,000 KW-hr	-Closed Landfill -Gas Utilizationn เริ่มปี 1993
Saint Michel Gas toEnergy Project	Canada[2/]	33,000,000 ตัน ปัจจุบันมีปริมาณขยะ 32,000,000 ตัน	1996	2003	The City of Moniteral	- ปริมาณมีแทนที่เกิดขึ้น - พลังงานที่ผลิตได้โดยใช้ Boiller Steam Turbine และ Generator	74,700,800m^3 (38%CH_4) - 208,200,000 KW-hr	-Gas Utilizationn เริ่มปี 1993

ที่มา: [1/] http://www.scsengineers.com/paperone.html

[2/] http://www.ec.gc.ca/E:\Landfill-gas-to-energy\Sanitary%20Landfill\Landfill%20Gas.htm

อย่างไรก็ตาม ในช่วงต้นศตวรรษที่ 21 ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบของการฝังกลบที่เรียกว่า Bioreactor Landfill ขึ้น ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้างเหมือนกับสถานที่ฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล คือ ต้องมีการปูวัสดุรองพื้น และระบบรวบรวมน้ำชะขยะ แต่มี

หลักการในการออกแบบระบบที่แตกต่างไปจากการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลเพื่อย่นระยะเวลาของการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีสภาวะเสถียรและคงที่ภายในเวลา 5-10 ปี โดยการปรับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ของระบบให้คงที่ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบ ก๊าซชีวภาพ (Landfill Gas Composition) อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (Gas Generation Rate) ความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของน้ำชะขยะ(Leachate Constituent and Concentration) ซึ่งไม่ควรจะมีความแปรปวนมากนัก

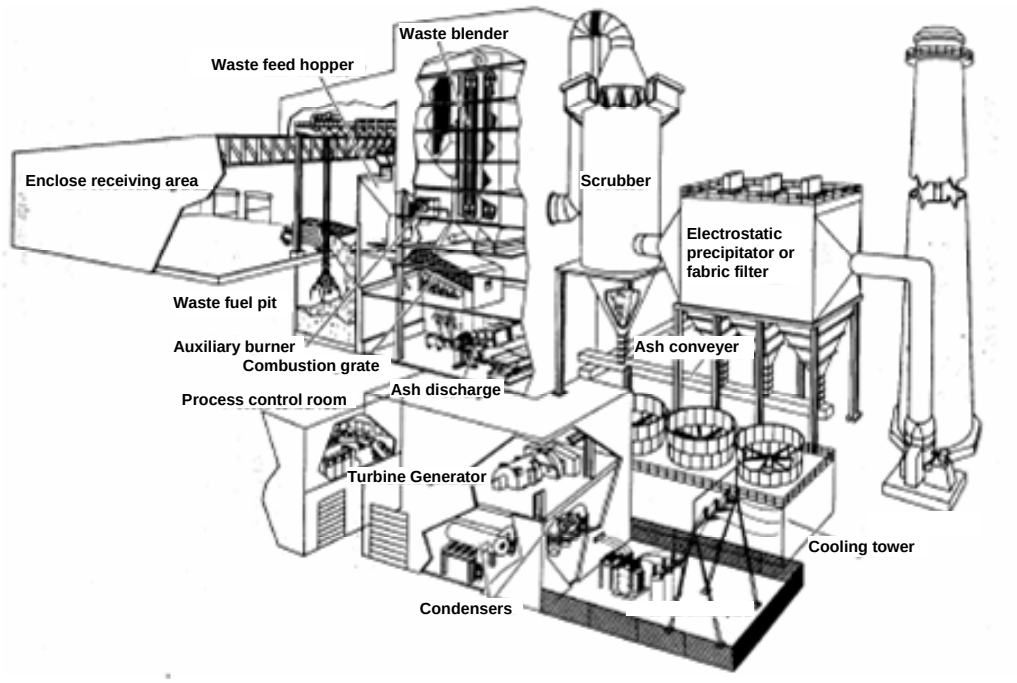
หลักการพื้นฐานในการออกแบบ/ดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะแบบ Bioreactor Landfill คือ การออกแบบและการดำเนินงานระบบแบบเฉพาะเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะชุมชน โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสม และเติมสารอาหารที่จำเป็นให้แก่จุลินทรีย์ สำหรับข้อดีนั้นนอกจากจะช่วยในการย่นระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะชุมชนแล้ว ยังช่วยทำให้เกิดความเสถียรภาพของระบบได้เร็วขึ้นอีกด้วย ในการควบคุมความชื้นของระบบ Bioreactor Landfill นั้นทำได้โดยการเติมน้ำหรือหมุนเวียนน้ำชะขยะเข้าไปในระบบ เพื่อให้ชั้นขยะมีความชื้นอยู่ ในช่วงประมาณร้อยละ 35 - 40 ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.2.3 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incineration)

2.2.3.1 บทนำ

การกำจัดขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา(Incineration หรือ Mass Burn) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้แก้ปัญหาวิกฤติขยะชุมชนในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ เนื่องจากการเผาเป็นการกำจัดขยะชุมชนโดยการลดปริมาตรที่มีประสิทธิภาพสูง และในขณะเดียวกันยังให้พลังงาน ในการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผานั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ค่าความชื้นและค่าความร้อนของขยะชุมชนซึ่งมีการผันแปรตามฤดูกาล และลักษณะองค์ประกอบของขยะชุมชน นอกจากนี้ปัญหามลภาวะเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญ โดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ การปนเปื้อนของขยะอันตรายจากครัวเรือนไม่เพียงแต่จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยสารพิษดังกล่าวออกสู่บรรยากาศ แต่ยังคงมีสารพิษค้างในเถ้าที่เหลือจากการไหม้อีกด้วย

เตาเผา (Incinerator) คือ การเผาขยะชุมชนในเตาที่ได้มีการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของขยะชุมชน คือ มีความชื้นสูงและมีค่าความร้อนที่แปรผันได้ การเผาไหม้จะต้องมีการควบคุมที่ดีเพื่อจะป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซพิษ เขม่า กลิ่น เป็นต้น ก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะได้รับการกำจัดเขม่าและอนุภาคตามที่กฎหมายควบคุมก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ ขี้เถ้าซึ่งเหลือจากการเผาไหม้มีปริมาตรประมาณร้อยละ 10 และน้ำหนักประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 ของขยะชุมชนที่ส่งเข้าเตาเผา เถ้าถูกนำไปฝังกลบหรือนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นวัสดุปูพื้นสำหรับการสร้างถนน นอกจากนั้นในบางพื้นที่ที่มีปริมาณขยะชุมชนมากสามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะชุมชนมาใช้ในการผลิตไอน้ำ หรือทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ภาพที่ 2.36 แสดงส่วนประกอบหลักของโรงเตาเผาขยะชุมชนซึ่งโดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.36 โรงเผาขยะชุมชนแบบนำความร้อนมาผลิตกระแสไฟฟ้า

(1) ส่วนบันทึกน้ำหนักและควบคุมขยะชุมชน (Waste Registration and Control) สำหรับการออกใบสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียน ตรวจสอบและควบคุมขยะชุมชนที่จะนำเข้าโรงเผา ในที่นี้จะมีการบ่งบอกประเภทของขยะชุมชน ชั่งน้ำหนัก และบันทึกข้อมูลก่อนที่จะนำเข้าสู่โรงเผาต่อไป

(2) การลดขนาด การคัดแยก และการตรวจสอบขยะชุมชน (Size reduction, Sorting and Inspection of Waste) ระบบนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งกำเนิดของขยะชุมชนซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการลดขนาดให้มีขนาดเล็กลง (เช่น กรณีที่มีขนาดใหญ่เกินไป) การคัดแยกนำขยะชุมชนส่วนที่ไม่สามารถเข้าโรงเผาได้ออกไปก่อน และการตรวจสอบขยะชุมชนทั้งหมดหรือบางส่วนของขยะชุมชนที่รับเข้ามา

(3) การเทและหลุมรองรับขยะชุมชน (Unloading and Hopper for Waste) ขยะชุมชนจะถูกเทลงหลุมรองรับขยะชุมชน โดยทั่วไปจะออกแบบให้ความจุของหลุมสามารถรองรับขยะชุมชนเพียงพอในแต่ละวันและต้องเผื่อไว้ให้สามารถรองรับขยะชุมชนได้ตลอดทั้งสัปดาห์ด้วย เพื่อให้มีการผสมขยะชุมชนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เตาเผา

(4) ระบบป้อนขยะชุมชน (Feeding System) ขยะชุมชนที่ถูกผสมเข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาทางช่องป้อน

(5) ห้องเผา (Furnace) ครั้งแรกขยะชุมชนจะถูกทำให้แห้ง ก่อนที่จะมีการลุกติดไฟตามด้วยการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในโซนของการเผาไหม้ในลานเผาที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้หลังเพื่อทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

(6) ระบบนำพลังงานกลับมาใช้ (Energy Recovery System) ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสามารถได้พลังงานกลับมาในรูปของกำลังความร้อนหรือไอน้ำ (หรือแบบผสมผสาน) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตลาดพลังงาน ณ แหล่งเตาเผานั้น

(7) ระบบนำเถ้าออก (Ash and Clinker Removal System) เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะถูกเก็บและขนส่งด้วยระบบลำเลียง ซึ่งสามารถร่อนคัดแยกและใช้ในการทำเป็นวัสดุรองพื้นในการก่อสร้างถนนหรือเพื่อการก่อสร้าง เถ้าส่วนที่ถูกคัดออกมาจะถูกนำไปฝังกลบแบบถูกตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

(8) ระบบควบคุมมลพิษอากาศ (Air Pollution Control System) ระบบควบคุมมลพิษอากาศหลักๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับระดับของการควบคุม อาจใช้เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) หรือเครื่องกรองแบบถุงกรอง (Baghouse Filter) สำหรับดักอนุภาคฝุ่นและโลหะหนักบางชนิดและอาจมีการเพิ่มระบบทำความสะอาดก๊าซด้วยวิธีทางเคมี เช่น Dry/Semi-dry Scrubber ตามด้วยเครื่องกรองแบบถุงกรอง หรือ Wet Scrubber และมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุม NO_X หรือไดออกซินด้วยการใช้เครื่องกรองแบบถุงกรองแบบพิเศษ

(9) ปล่องระบายไอเสีย (Stack) ไอเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในที่สุดจะปล่อยระบายออกทางปล่องระบายไอเสีย ความสูงของปล่องระบายขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ที่ตั้งโรงเผาขยะและสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา

2.2.3.2 เทคโนโลยีเตาเผาขยะชุมชน

หัวใจของโรงเผาขยะชุมชน คือระบบการเผาไหม้ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burn System) ซึ่งหมายถึง การเผาทำลายขยะชุมชนในสภาพที่รับเข้ามาโดยไม่ต้องมีกระบวนการจัดการเบื้องต้นก่อน และอีกประเภทหนึ่ง คือ ระบบที่มีกระบวนการจัดการเบื้องต้น (Burning of Preheated and Homogenized Waste)

ระบบการเผาไหม้มวลเป็นการเผาไหม้ขยะชุมชนที่มีองค์ประกอบที่หลากหลายโดยไม่ต้องมีการจัดการเบื้องต้นก่อน เทคโนโลยีนี้ปกติจะเป็นการเผาไหม้ในเตาเผาแบบตะกรับที่เคลื่อนที่ (Moving grate) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้วว่ามีสมรรถนะทางเทคนิคที่ยอมรับได้และสามารถรองรับการเผาทำลายขยะชุมชนที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่หลากหลาย ระบบที่ได้รับความนิยมรองลงมาคือ ระบบเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln)

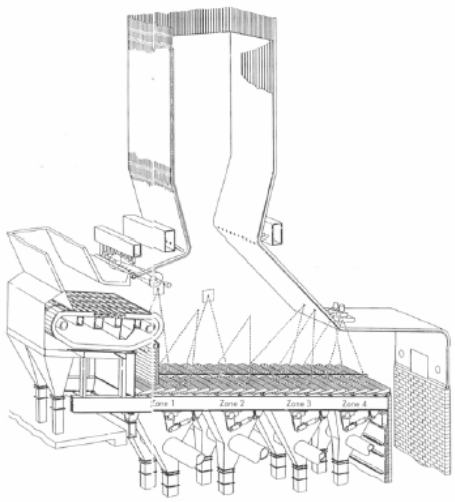
ระบบที่มีการจัดการขยะชุมชนเบื้องต้นก่อนทำการเผา ต้องมีระบบเพื่อการลดขนาด การบดตัด และการคัดแยก หรือในบางครั้งอาจมีระบบการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (Refuse-Derived Fuel: RDF) ซึ่งทำให้มีความยุ่งยากในการปฏิบัติงานมากขึ้น ดังนั้นระบบดังกล่าวจึงมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัด

ระบบที่มีการจัดการขยะชุมชนเบื้องต้นก่อนทำการเผา อาจใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ซึ่งจัดว่าเทคโนโลยีที่ใหม่และมีการใช้งานเพื่อการเผาทำลายขยะชุมชนในวงจำกัด โดยทั่วไปใช้ในการกำจัดขยะอุตสาหกรรม

1) เตาเผาแบบ Moving Grate

เตาเผาขยะชุมชนแบบMoving Gate เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายดังแสดงใน ภาพที่ 2.37 ซึ่งประกอบด้วยตะกรับที่สามารถเคลื่อนที่ได้และมีการเผาไหม้อยู่บนตระกรับนี้ โดยขณะเผาไหม้ ตะกรับจะเคลื่อนที่และลำเลียงขยะชุมชนจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย

มือจับของ Overhead Crane จะทำหน้าที่จับขยะชุมชนเพื่อป้อนลงไปในช่องป้อนก่อนที่จะเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเตาเผาด้วยแรงโน้มถ่วง เมื่อขยะชุมชนตกลงไปวางบนตะกรับ แล้วความร้อนในเตาเผาจะทำให้ขยะชุมชนแห้งก่อนที่จะเกิดการเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิสูงกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ขี้เถ้า (รวมทั้งส่วนประกอบของขยะชุมชนส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้) จะหลุดออกจากตะกรับในลักษณะของเศษและเถ้าจมผ่านหลุมถ่ายขี้เถ้า



ภาพที่ 2.37 ระบบเตาเผาแบบ Moving Grate

ตะกรับจะทำหน้าที่เป็นเสมือนพื้นผิวด้านล่างของเตา การเคลื่อนที่ของตะกรับจะทำให้ขยะชุมชนผสมกันอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

สามารถแทรกซึมไปทั่วถึงพื้นผิวของขยะชุมชน ตะกรับอาจถูกจัดแบ่งให้เป็นพื้นที่ย่อยเฉพาะซึ่งทำให้สามารถปรับปริมาณอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ได้อย่างอิสระ และทำให้สามารถเผาไหม้ได้แม้ขยะชุมชนที่มีค่าความร้อนต่ำ ตะกรับที่ใช้กับระบบเตาเผาขยะชุมชนมีหลายแบบ เช่น Forward Movement, Backward Movement, Double Movement, Rocking และ Roller เป็นต้น ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบตระกรับสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.26

ตารางที่ 2.26 ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบตระกรับ

ข้อเด่น	**ข้อด้อย**
1. ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะชุมชนก่อน 2. เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้รับการทดสอบ แล้วสำหรับการเผาทำลายขยะชุมชนและมีสมรรถนะตรงตามวัตถุประสงค์ 3. สามารถจัดการกับขยะชุมชนที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี 4. สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 85% 5. เตาเผาแต่ละเตาสามารถก่อสร้างให้มีความสามารถในการเผาทำลายได้ถึง1,200 ตันต่อวัน(50 ตันต่อชั่วโมง)	1. เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

2) เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

ระบบเตาเผาแบบหมุน เป็นการเผาไหม้มวลของขยะชุมชนโดยใช้ห้องเผาไหม้ ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน ดังแสดงในภาพที่ 2.38 ขยะชุมชนจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ

ผนังของเตาเผาทำจากอิฐทนไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และยาวตั้งแต่ 8 ถึง 20 เมตร ความสามารถในการเผาทำลายขยะชุมชนมีตั้งแต่ 2.4 ตันต่อวัน (0.1 ตันต่อชั่วโมง) จนถึงประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง) อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้จะมีปริมาณที่มากกว่าแบบที่ใช้กับ เตาเผาแบบตะกรับ และอาจจะมากกว่าที่ใช้กับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วย เตาเผาแบบหมุนจะมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80

ภาพที่ 2.38 ระบบเตาเผาแบบหมุนที่ติดตั้งใช้งานจริง

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (Retention Time) ของก๊าซไอเสียค่อนข้างสั้นเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเตาทรงกระบอกจึงมักมีส่วนต่อที่ทำเป็นห้องเผาไหม้หลัง (After-Burning Chamber) และมักรวมอยู่ในส่วนของหม้อน้ำ ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบหมุนสรุปได้ดังตารางที่ 2.27

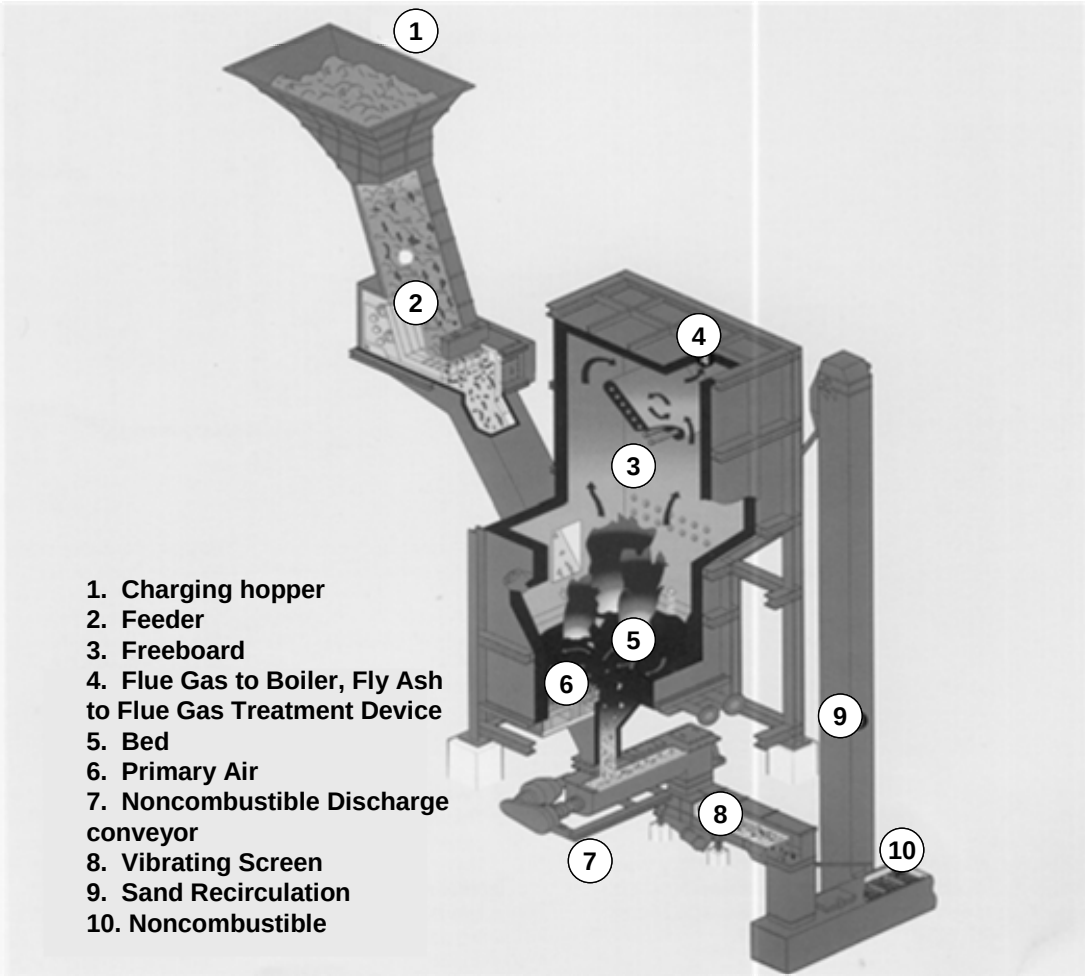
ตารางที่ 2.27 ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบหมุน

ข้อเด่น	**ข้อด้อย**
1. ไม่ต้องการการคัดแยก หรือบดตัดขยะชุมชนก่อน	1. เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้ในการเผาทำลายขยะชุมชนค่อนข้างน้อย
2. สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 80%	2. เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง
3. สามารถจัดการกับขยะชุมชนที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็น อย่างดี	3. ความสามารถในการเผาทำลายสูงสุดต่อเนื่องประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง)

3) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดทำงานโดยอาศัยหลักการที่อนุภาคของแข็ง เช่น ทรายที่เติมเข้าไปในเตา เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ต่อเนื่อง โดยจะผสมเข้ากับขยะชุมชนที่ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ถูกทำให้ลอยตัวขึ้นอันเนื่องมาจากอากาศที่เป่าเข้าด้านข้างทำให้มัน

มีพฤติกรรมเหมือนกับของไหล เตาเผาโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกแนวตั้งและวัสดุที่ใช้เป็นอนุภาคของแข็งมักทำมาจากทราย ซิลิกา หินปูน หรือวัสดุเซรามิค ภาพที่ 2.39



ภาพที่ 2.39 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

การใช้งานเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดอยู่ในขั้นการพัฒนาเทคโนโลยีโดยเตาเผาประเภทนี้มีข้อได้เปรียบที่สามารถลดปริมาณสารอันตรายได้และมีประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานความร้อนจึงสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลากหลายประเภท ข้อเสียเปรียบของเตาเผาประเภทนี้อยู่ที่ต้องการกระบวนการในการจัดการขยะชุมชนเบื้องต้นก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เตาเผา เพื่อให้ขยะชุมชนมีขนาด ค่าความร้อน ปริมาณขี้เถ้าที่อยู่ข้างในตามข้อกำหนดของเตาเผา แต่เนื่องจากขยะชุมชนมีลักษณะสมบัติที่หลากหลายจึงทำให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงตามความต้องการ ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบนี้สรุปได้ดังตารางที่ 2.28

ตารางที่ 2.28 ข้อเด่นและข้อด้อยของเตาเผาแบบหมุนฟลูอิดไดซ์เบด

ข้อเด่น	ข้อด้อย
1. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำเนื่องจากการออกแบบที่ค่อนข้างง่าย 2. สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 90% 3. สามารถใช้ในการเผาทำลายขยะหลากหลายประเภทและสามารถรองรับได้ทั้งกากของแข็งและเหลวโดยเผาทำลายร่วมกัน หรือเผาแยก	1. ณ ปัจจุบันยังจัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังต้องการการทดสอบอยู่สำหรับการเผาทำลายขยะชุมชน 2. ค่อนข้างมีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบของขยะชุมชนโดยทั่วไปต้องมีการกระบวนการในการจัดการขยะชุมชนก่อนส่งเข้าเตาเผา

2.2.3.3 การนำพลังงานกลับมาใช้ (Energy Recovery)

ประโยชน์หลักที่ได้รับจากการเผาไหม้ขยะชุมชนในเตาเผา ได้แก่ การนำเอาพลังงานที่มีอยู่ในขยะชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ นอกจากนี้ยังเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยรวมด้วยก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะมีพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่ในตัวด้วยจะถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยหม้อน้ำ (boiler) ก่อนที่จะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ

ชนิดของหม้อน้ำที่ติดตั้งขึ้นอยู่กับว่าต้องการพลังงานในรูปของน้ำร้อนเพื่อใช้กับระบบน้ำร้อน หรือไอน้ำเพื่อใช้ในระบบ หรือเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การนำพลังงานขั้นสุดท้ายไปใช้งานก็ขึ้นอยู่กับผู้ต้องการใช้พลังงาน ณ โรงเผาขยะชุมชนด้วยว่าเป็นอย่างไร ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. โครงข่ายระบบพลังงาน เช่น มีโครงข่ายสายไฟฟ้า หรือมีโครงข่ายระบบน้ำร้อนหรือไอน้ำ

2. รูปแบบการใช้พลังงานตลอดทั้งปี ต้องตระหนักว่าโรงงานเตาเผาขยะชุมชนมักมีการการผลิตพลังงานที่ค่อนข้างจะไม่คงที่

3. ราคาของแหล่งพลังงานอื่นๆ และข้อตกลงการซื้อพลังงานกับผู้ใช้พลังงาน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของโรงเผาขยะชุมชนซึ่งรวมถึงระบบการผลิตพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานรูปสุดท้ายที่ต้องการใช้งาน การผลิตกระแสไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานต่ำซึ่งทำให้ราคาขายพลังงานสูง ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในระบบเครือข่ายน้ำร้อน

จะได้พลังงานมีราคาขายพลังงานสูง ประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานสูงกว่า แต่ความยุ่งยากรวมทั้งต้นทุนและเทคนิคในการติดตั้งง่ายกว่า

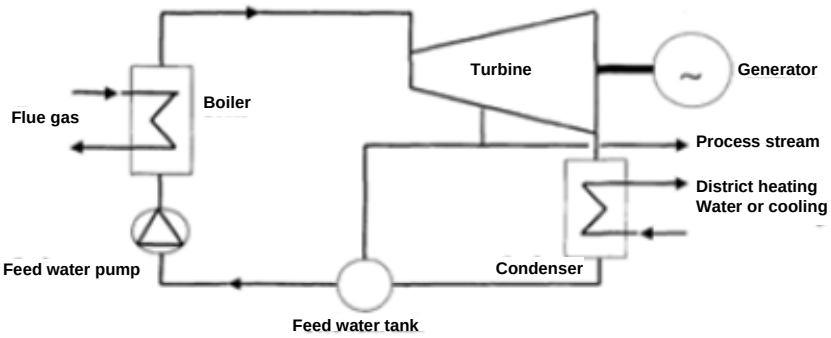
ตารางที่ 2.29 สรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่สำหรับการใช้พลังงานแต่ละประเภทเทียบกับความร้อนที่ใส่เข้าไป หากสมมุติว่าทราบค่าความร้อนของขยะชุมชนที่เข้าเผาจะทำให้สามารถประมาณประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ และรายรับที่เกิดจากการขายพลังงาน

ตารางที่ 2.29 สรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการผลิตพลังงานในรูปแบบต่างๆ

การใช้พลังงาน	**พลังงานที่นำกลับมาได้**		**ประสิทธิภาพโดยรวม**
ความร้อนเท่านั้น	ความร้อน	80%	80%
ไอน้ำเท่านั้น	ไอน้ำ	80%	80%
กระแสไฟฟ้าเท่านั้น	กระแสไฟฟ้า	35%	35%
ไอน้ำและกำลังร่วม	ไอน้ำ กระแสไฟฟ้า	0-75% 0-35%	35-75%
ความร้อนและกำลังร่วม	ความร้อน กระแสไฟฟ้า	60-65% 20-25%	85%

1) หม้อน้ำร้อน (Hot Water Boiler)

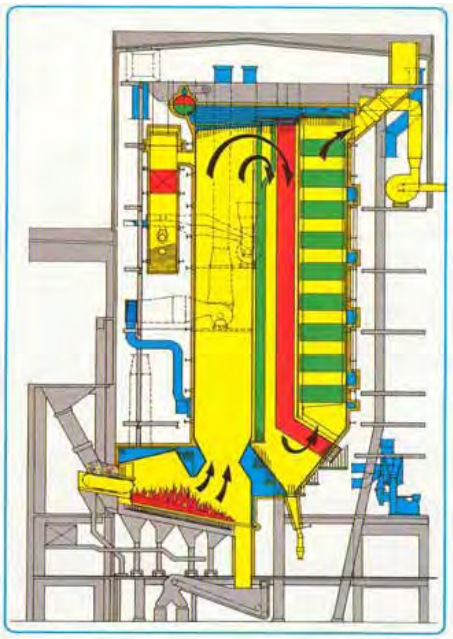
หม้อน้ำร้อนที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนจากการเผาขยะชุมชนมีโครงสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม สิ่งที่พึงตระหนัก คือ การสึกกร่อนที่เกิดจากการไหลของก๊าซไอเสีย น้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100-160 °C และสามารถทำอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้อีกขึ้นอยู่กับความดันในการทำงานของหม้อน้ำ ประสิทธิภาพของหม้อน้ำสามารถสูงถึงร้อยละ 80 โดยถูกจำกัดที่อุณหภูมิไหลกลับของน้ำเข้าระบบ วงจรของหม้อน้ำร้อนที่ใช้กับระบบเตาเผาขยะชุมชนแสดงในภาพที่ 2.40



ภาพที่ 2.40 วงจรหม้อน้ำร้อน

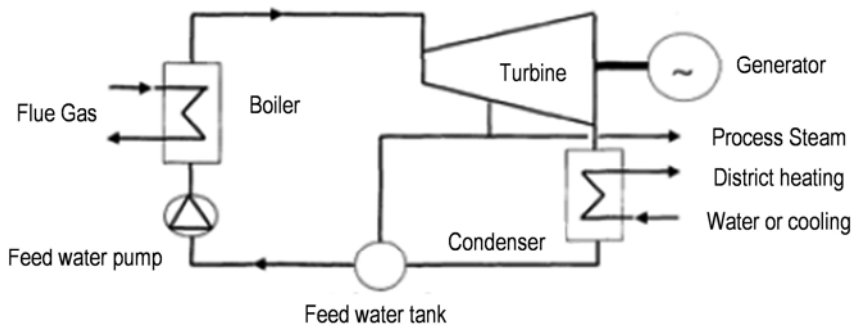
2) หม้อไอน้ำความดันสูง (High-pressures Steam Boiler)

หม้อไอน้ำความดันสูงต้องการการออกแบบที่พิถีพิถันและข้อที่ต้องระมัดระวังมากกว่าหม้อน้ำร้อนหรือหม้อไอน้ำความดันต่ำทั้งในเรื่องการออกแบบตำแหน่งการจัดวางและพารามิเตอร์ในการทำงาน หม้อไอน้ำความดันสูงสามารถจัดแบ่งได้ตามส่วนแผ่รังสีความร้อน (Radiation Part) และส่วนของการพาความร้อน (Convection Part) โดยหลังจากก๊าซไอเสียไหลผ่านส่วนแผ่รังสีความร้อนแล้วจะไหลเข้าส่วนพาความร้อนซึ่งใช้ในการทำให้ไอน้ำกลายเป็น Superheated Steam หลังจากนั้นจึงผ่าน Economizer ซึ่งก๊าซไอเสียจะมีอุณหภูมิระหว่าง 160 ถึง 220 °C ก่อนที่ไหลเข้าสู่ระบบทำความสะอาดก๊าซ ดังแสดงในภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.41 หม้อไอน้ำความดันสูง

สำหรับในส่วนของการแผ่รังสีความร้อนนั้นต้องการความสูงของโรงประมาณ 30 ถึง 40 เมตร ในส่วนของการพาความร้อนอาจจัดวางแบบตามแนวนอน หรือตามแนวตั้งก็ได้ ไอน้ำมีส่วนสำคัญต่อการปฏิบัติงานเตาเผาขยะชุมชนซึ่งจะต้องออกแบบเพื่อป้องกันปัญหารุนแรงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อหม้อไอน้ำ ทั้งในเรื่องของการกัดกร่อน การสึกหรอ การเกาะติดของวัสดุ เป็นต้น ด้วยเหตุผลนี้ จึงเป็นข้อจำกัดของการปฏิบัติงานระบบเตาเผาที่จะต้องทำให้อุณหภูมิสูงสุดของไอน้ำมีค่าไม่เกิน 400 °C และความดันประมาณ 40 บาร์ อุณหภูมิของน้ำไหลกลับเข้าหม้อน้ำควรรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำสุด 125 ถึง 130 °C เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสึกหรอที่อุณหภูมิกับส่วนที่เย็นที่สุดของหม้อไอน้ำวงจรของหม้อไอน้ำใช้วัฏจักร Ranking ดังแสดงในภาพที่ 2.42



ภาพที่ 2.42 วัฏจักร Ranking สำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง

3) การนำไอน้ำไปใช้งาน

(1) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเท่านั้น

ในกรณีที่ต้องการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่านั้น มีความเป็นไปได้ที่จะนำพลังงานกลับมาใช้ได้ถึงร้อยละ 35 ของพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ขยะชุมชน ความร้อนส่วนที่เกิน (Surplus Heat) จะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์หรือในหอระบายความร้อน (Cooling Tower) ทางเลือกนี้เหมาะสมอย่างยิ่งเมื่อบริเวณสถานที่ตั้งโรงเผาขยะชุมชนไม่มีผู้ใช้ไอน้ำอยู่ใกล้ และเมื่อพลังงานถูกใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจึงใช้เทอร์ไบน์แบบ Fully Condensing Turbine ความร้อนที่ขับออกไปทางคอนเดนเซอร์ไม่เพียงพอที่จะเก็บกลับมาใช้ใหม่ ส่วนการหล่อเย็นอาจใช้น้ำหรือระบายความร้อนด้วยอากาศ

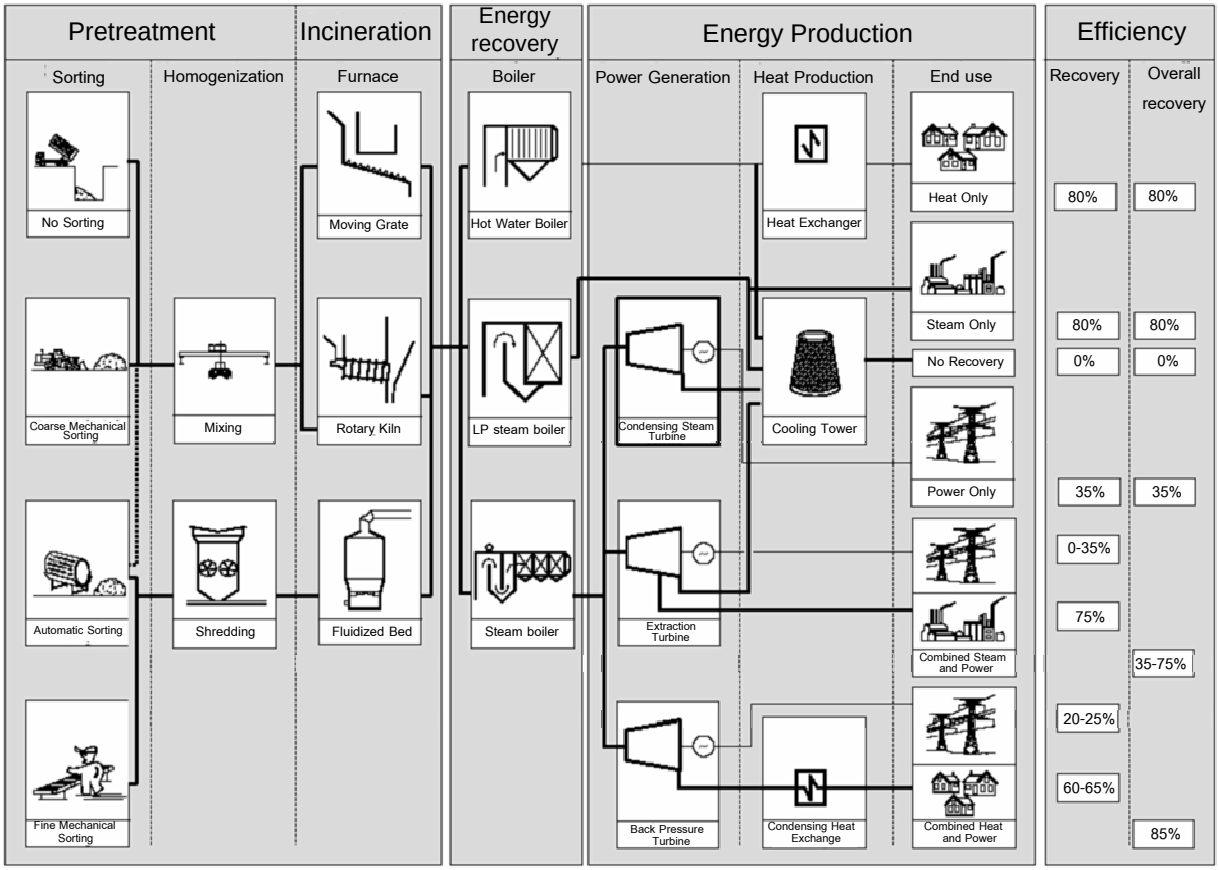
(2) ผลิตความร้อนและกำลังร่วม

ในกรณีที่ต้องการผลิตทั้งความร้อนและกำลังร่วมกันจะทำให้สามารถใช้พลังงานที่มีอยู่ในขยะชุมชนได้ถึงร้อยละ 85 เมื่อหม้อไอน้ำถูกออกแบบมาให้ใช้กับเตาเผาขยะ

ชุมชนโดยเฉพาะจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าถึงร้อยละ 20 ถึง 25 และกำลังความร้อนร้อยละ 65 ถึง 60 ในกรณีนี้เมื่อมีการผลิตทั้งความร้อนและกำลังทำให้ต้องใช้ Back Pressure Turbine

(3) ผลิตไอน้ำและกำลังร่วม

เมื่อมีการผลิตทั้งไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมและกำลังร่วม กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าขึ้นอยู่กับไอนน้ำที่ถูกดึงไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 35 ถึง 20 และเมื่อผลิตทั้งไอน้ำและกำลังจึงทำให้ต้องมีไอน้ำที่ไหลผ่านเทอร์ไบน์อย่างน้อยประมาณร้อยละ 10 และเทอร์ไบน์ที่ใช้จะเป็นแบบ Extraction Turbine แผนภูมิแสดงภาพรวมการผลิตพลังงานจาการเผาขยะชุมชนแสดงดังภาพที่ 2.43



ภาพที่ 2.43 แผนภูมิแสดงภาพรวมการผลิตพลังงานจากการเผาขยะชุมชน

2.2.3.4 การผลิตพลังงานจากการเผาไหม้ขยะชุมชนในประเทศต่าง ๆ

โดยทั่วโลกแล้วขยะชุมชนกว่า 130 ล้านตันต่อปี ถูกกำจัดด้วยเตาเผาขยะชุมชน ซึ่งมีมากกว่า 600 แห่ง โดยสามารถนำพลังงานกลับคืนมาทั้งในรูปพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมหรือให้ความร้อน รวมทั้งนำเศษโลหะที่เหลือจากการเผาไหม้กลับมาใช้ใหม่ จากข้อกำหนดของประชาคมยุโรป กำหนดว่าไม่ให้ทำการฝังกลบขยะชุมชนส่วนที่เผาไหม้ได้เกินร้อยละ 5 ในอีก 10 ปีข้างหน้า ทำให้การผลิตพลังงานจากการเผาขยะชุมชนขยายตัวขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อเทียบปริมาณขยะชุมชนที่มีการเผาเพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ใหม่ ในญี่ปุ่นมีจำนวน 314 กก./คน ในสิงคโปร์เท่ากับ 252 กก./คน และในสหรัฐอเมริกาเท่ากับ 105 กก./คน ประเทศใหม่ที่เริ่มมีการใช้โรงเผาขยะชุมชนเพื่อผลิตพลังงานคือ จีนซึ่งมีโรงเผาขยะชุมชนมากกว่า 7 แห่ง และมีอัตราการกำจัดขยะชุมชนมากกว่าปีละ 1.6 ล้านตัน (Themelis, 2003)

ตารางที่2.30 การผลิตพลังงานจากการเผาไหม้ขยะชุมชนในประเทศต่างๆ แถบยุโรป

Countries	**Tonnes/year (in 1999)**	**Kilograms/ capita**	**Thermal energy (gigajoules)**	**Electric energy (gigajoules)**
Australia	450,000	56	3,053,000	131,000
Denmark	2,562,000	477	10,303,000	3,472,000
France	10,584,00	180	32,303,000	2,164,000
Germany	12,853,00	157	27,190,000	12,042,000
Hungary	352,000	6	2,000	399,000
Italy	2,169,00	137	3,354,000	2,338,000
Netherlands	4,818,000	482	-	9,130,000
Norway	220,000	49	1,409,000	27,000
Portugal	322,000	32	1,000	558,000
Spain	1,039,000	26	-	1,934,000
Sweden	2,005,000	225	22,996,000	4,360,000
Switzerland	1676,000	164	8,698,000	2,311,000
UK	1,074,000	18	1,000	1,895,000
Total reported	40,484,000	1,515 (Average)	109,550,000	40,763,000

ที่มา: International Solid Waste Association (2003)

ตารางที่2.31 จำนวนโรงเผาขยะชุมชนและอัตราการเผาทำลายในสหรัฐอเมริกา

States	Number of Plants	Capacity (Short US ton/day)
Connecticut	6	6,500
New York	10	11,100
New Jersey	5	6,200
Pennsylvania	6	8,400
Virginia	6	8,300
Florida	13	19,300
Total	53	69,600

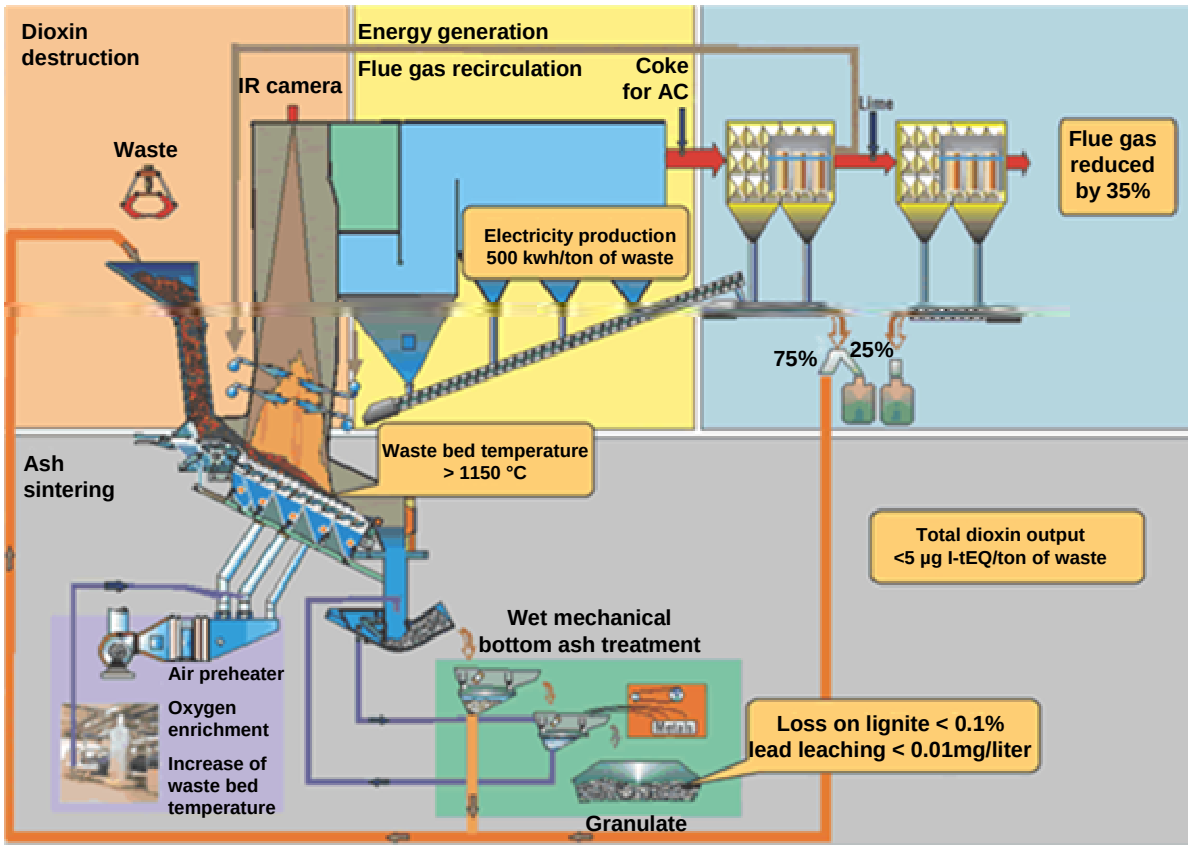
ที่มา: Themelis (2003)

2.2.3.5 สถานะปัจจุบันของเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน

เทคโนโลยีที่นิยมใช้เพื่อการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burning System) เนื่องจากเป็นระบบที่ซับซ้อนและใช้เงินลงทุนต่ำ เทคโนโลยีเตาเผาแบบตะกรับที่พัฒนาขึ้นโดย Martin GMBH (Munich, Germany) ได้รับการติดตั้งเพื่อผลิตพลังงานจากขยะชุมชนไปแล้วกว่า 59 ล้านตัน เตาเผาแบบตะกรับของ Martin ที่สร้างขึ้นที่ Brassy (Italy) เป็นเทคโนโลยีใหม่สุดในการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.44 ระบบเตาเผาไหม้มวลของ Von Roll (Zurich, Switzerland) ได้มีการใช้งานเพื่อเผาทำลายขยะชุมชนมากว่า 32 ล้านตันทั่วโลก ระบบเตาเผาแบบอื่นๆ ที่ใช้งานกันมีความสามารถรวมกันในการเผาทำลายขยะชุมชนมากกว่า 40 ล้านตัน

1) การกำจัดขยะชุมชนโดยการเผาไหม้ และการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่: กรณีศึกษาสำหรับประเทศญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาและมีพื้นที่ราบจำนวนน้อย ดังนั้นการฝังกลบขยะชุมชนจึงทำได้ยากและส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเผา นอกจากนี้ญี่ปุ่นยังมีเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานจากการเผาไหม้ขยะชุมชนด้วย ในที่นี้จึงขอเสนอเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานจากการเผาไหม้ขยะชุมชนในประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ 2.44 เตาเผาแบบ Mass burn ที่ Brassy

(1) ระบบเตาเผาขยะชุมชน Kanazawa Plant เมือง Yokohama

เตาเผาขยะชุมชน Kanazawa Plant ของเมือง Yokohama ภาพที่ 2.45 และภาพที่ 2.46 เป็นเตาเผาชนิดแผงตะกรับป้อนอย่างต่อเนื่อง (Continuous Combustion Type Stoker Furnace) ขนาด 400 ตันต่อวันต่อเตา จำนวน 3 เตา โรงงานเตาเผาเริ่มก่อสร้างตั้งแต่ปี 2538 และแล้วเสร็จเมื่อปี 2544 ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 62.6 พันล้านเยน มีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

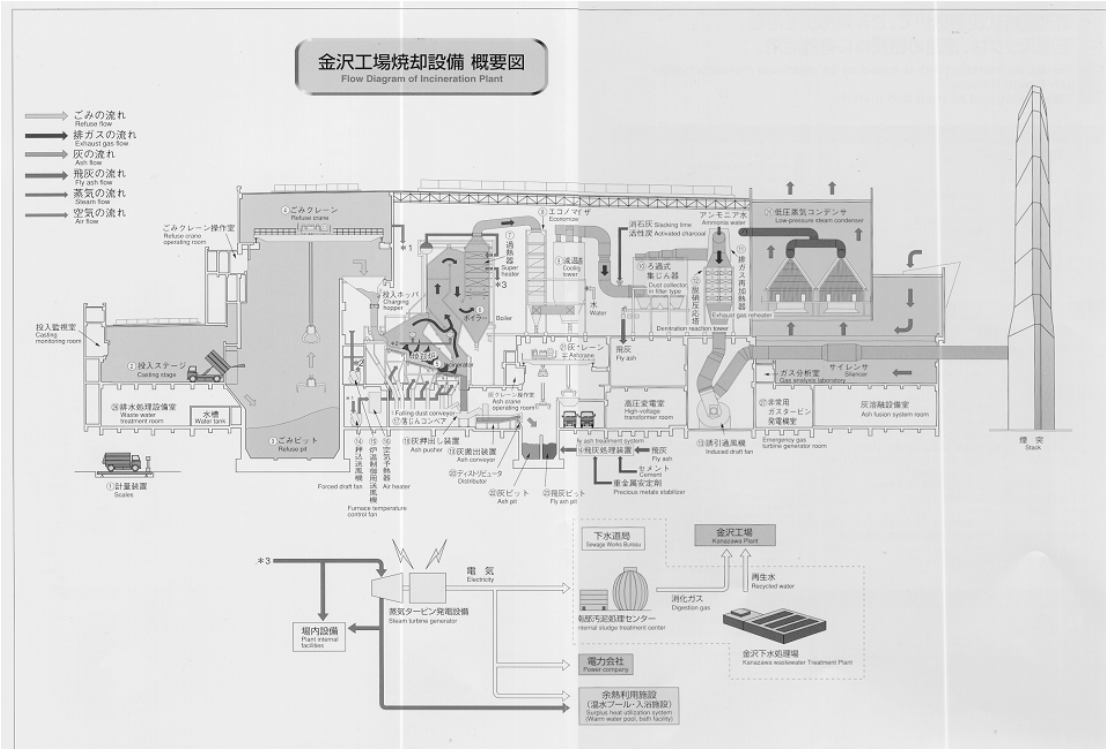
• หม้อต้มน้ำ (Boiler) จำนวน 3 ชุด ซึ่งประกอบไปด้วย Economizer และ Superheated สามารถผลิตไอน้ำได้ในอัตราสูงสุด 68.8 ตันต่อชั่วโมง

• Steam turbine จำนวน 1 ชุด สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 35 MW

• ระบบก๊าซไอเสีย มีระบบบำบัดก๊าซโดยใช้ Slacked Lime และ Activated Carbon และระบบ Denitrification

• เตาหลอมเถ้าแบบ Electrical Resistance ขนาด 60 ตันต่อวัน พร้อมด้วย Slag Molding

ภาพที่ 2.45 โรงงานเตาเผาขยะชุมชนของเมือง Yokohama ณ Kanazawa



ภาพที่ 2.46 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบเตาเผา ณ โรงงาน Kanazawa

ขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดจะถูกบันทึกน้ำหนักก่อนเทลงสู่บ่อเก็บซึ่งสามารถเก็บขยะชุมชนได้ไม่ต่ำกว่า 3 วัน ขยะชุมชนถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาและมีการเผาไหม้ด้วยอากาศที่จ่ายเข้าด้านใต้ตะแกรงและด้านบนภายในห้องเผาไหม้ก๊าซร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทความร้อนสู่หม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำก่อนไหลเข้าสู่หอลดอุณหภูมิ และก๊าซต่างๆ จะบำบัดโดยระบบถุงกรอง (Bag Filter) ที่มีการฉีดผงActivated Carbon จากนั้นจะไหลเข้าสู่ระบบลดการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งใช้น้ำแอมโมเนียช่วยฉีดพ่น ก๊าซไอเสียจะไหลผ่าน Silencer เพื่อลดเสียงก่อนปล่อย

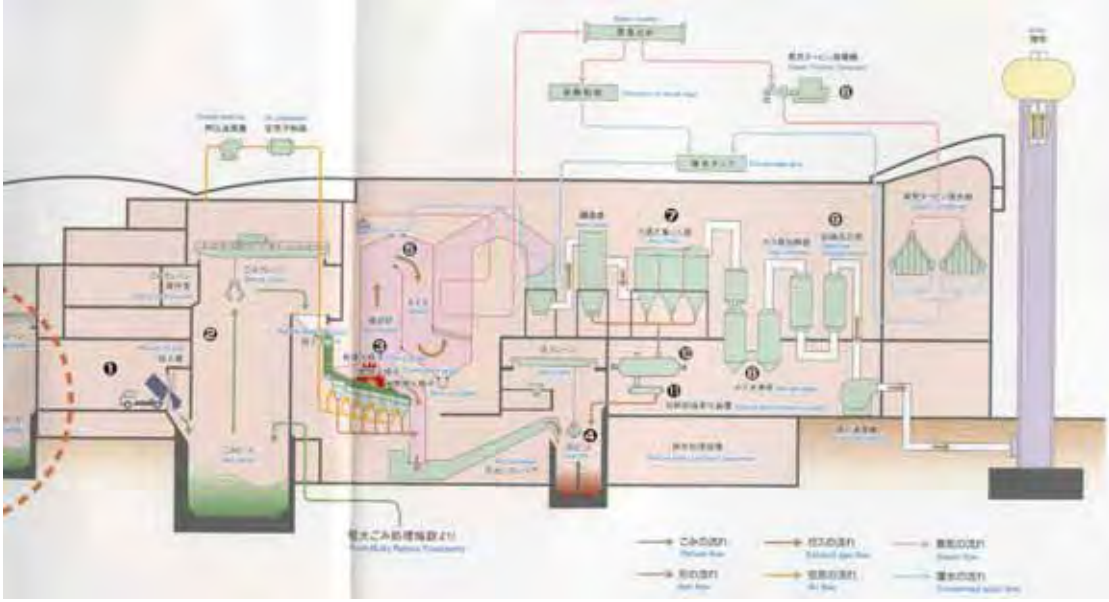
ออกทางปล่องระบาย ไอน้ำที่ได้จากหม้อน้ำจะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโรงบำบัดกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย และส่วนที่เหลือจ่ายเข้าสู่สายส่งไฟฟ้า ไอน้ำบางส่วนจะใช้ในการให้ความร้อนแก่สระว่ายน้ำ

จุดเด่นของระบบเตาเผาของโรงงาน Kanazawa คือการกำจัดขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ โดยการหลอมละลายในเตาหลอมไฟฟ้าเพื่อให้ได้ก้อน Slag ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตและปูผิวทางในการทำถนน ผังการทำงานของเตาหลอมไฟฟ้า

(2) โรงงานเตาเผาขยะชุมชนของเทศบาลเมือง Mishima

เมือง Mishima OSAKA เป็นชุมชนเมืองใหม่ที่มีประชาชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นและตั้งอยู่ไม่ไกลจาก Universal Studio และ OSAKA Aquarium ซึ่งมีนักท่องเที่ยวหลั่งไหลเข้ามาจำนวนมาก ดังนั้นการก่อสร้างเตาเผาขยะชุมชนหากไม่มีการจัดการด้านมวลชนอย่างดีจะทำให้ก่อให้เกิดปัญหาการต่อต้าน โรงงานเตาเผาขยะชุมชนของเทศบาลเมือง Mishima ภาพที่ 2.47 และภาพที่ 2.48 มีออกแบบด้านสถาปัตยกรรมที่ทันสมัยและดึงดูดประชาชนให้มีทัศนคติที่ดีต่อโรงงานและยังได้จัดให้มีบริเวณต้อนรับนักท่องเที่ยวที่สามารถเข้ามาเยี่ยมชมการปฏิบัติงานของโรงงานได้ด้วย

ภาพที่ 2.47 โรงงานเตาเผาเทศบาลเมือง Mishima



ภาพที่ 2.48 แผนผังแสดงการทำงานของระบบเตาเผาเทศบาลเมือง Mishima

2) เทคโนโลยีเตาเผาขยะชุมชน: ประสบการณ์ของประเทศในสหภาพยุโรป

เตาเผาขยะชุมชนจัดว่าเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดขยะชุมชนสำหรับประเทศที่เป็นสมาชิกในสหภาพยุโรป แม้ว่าการกำจัดโดยการฝังกลบเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด แต่จากข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการจำกัดประเภทของขยะชุมชนที่จะกำจัดโดยการฝังกลบทำให้เทคโนโลยีการเตาเผามีความจำเป็นในการแก้ปัญหาอีกครั้ง และมีการคาดการณ์ว่าในสหภาพยุโรปมีการใช้เทคโนโลยีเตาเผาในการกำจัดขยะชุมชนประมาณปีละ 45 ล้านตัน (Rylander, 2002) ซึ่งปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศต่างๆ ของสมาชิกสหภาพยุโรปจะแตกต่างกัน แต่โดยเฉลี่ยแล้วประชากรในแต่ละประเทศจะผลิตขยะชุมชนเฉลี่ยปีละ 500 กิโลกรัม ในปัจจุบันพบว่ามีการกำจัดขยะชุมชนโดยการฝังกลบมากกว่าร้อยละ 70 ขณะที่มีการใช้เตาเผาประมาณร้อยละ 20 โดยในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมามีการต่อต้านการใช้เตาเผารุนแรงมากขึ้นเนื่องจากมีมลพิษต่างๆ เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ขยะชุมชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาไดออกซิน ในตารางที่ 2.32 แสดงสถิติการใช้เตาเผาในสหภาพยุโรป ซึ่งจะพบว่าเตาเผาขยะชุมชนเกือบทั้งหมดจะสร้างขึ้นเพื่อผลิตพลังงาน โดยที่อาจจะมีโรงงานเตาเผาใน เบลเยี่ยม ฝรั่งเศส และอิตาลีบางแห่งที่ไม่ได้ผลิตพลังงาน แต่ก็มีจำนวนอยู่อย่างจำกัด

ตารางที่ 2.32 จำนวนเตาเผาขยะชุมชน อัตราการกำจัด และการผลิตพลังงานในสหภาพยุโรป

ประเทศ	จำนวนเตาเผาขยะชุมชนทั้งหมด		คาดการณ์ความสามารถในการเผา (Mt/yr)		คาดการณ์ร้อยละของพลังงานที่ผลิตได้ (%)
แหล่งข้อมูล:	ISWA	Other	ISWA	Other	
ออสเตรเลีย	-	3	-	0.5	100
เบลเยี่ยม	n/a	18	n/a	2.5	78
เดนมาร์ก	34	26	2.6	2.9	100
ฟินแลนด์	n/a	1	n/a	0.07	100
ฝรั่งเศส	95	79	9.5	10.8	72
เยอรมัน	36	51	9.6	13.5	100
กรีซ	n/a	0	n/a	0	-
ไอน์แลนด์	n/a	0	n/a	0	-
อิตาลี	15	22	21	2.2	91
ลักซ์เซมเบิร์ก	n/a	1	n/a	0.15	100
โปรตุเกส	n/a	0	n/a	0	-
สเปน		9		1.13	100
สวีเดน	21	15	1.8	2.1	100
เนเธอร์แลนด์	6	11	2.3	5.7	100
อังกฤษ	12	7	1.7	2.1	100
สหภาพยุโรป	**n/a**	**243**	**n/a**	**43.7**	**88.5**

หมายเหตุ: - n/a หมายถึงไม่มีข้อมูล - หมายถึงไม่ดำเนินการ

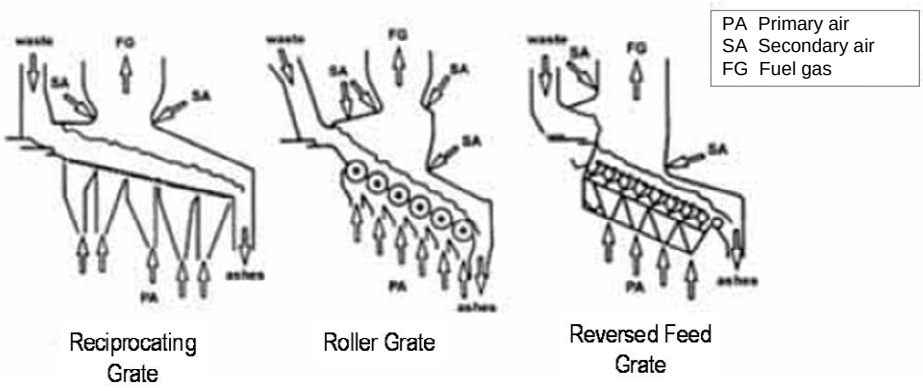
- ARA, January 14, 1999;
- H. Nygard, Ekorosk, Finland, Workshop on fuel and energy recovery, Brussels, Nov. 26, 1998
- Juniper Consultancy, UK, Energy from waste plants: Databook of European Sites, Nov. 1997
- Mr Martinez de Hurtado Gil, Spanish Ministry of the Environment, 20 January, 1999
- PODS/EEWC, 15 January 1999,

ที่มา: (Göerner, 2003)

สาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้แนวโน้มการใช้เทคโนโลยีเตาเผาขยะชุมชนได้เปลี่ยนแนวทางไปในเรื่องการผลิตพลังงาน ก็เนื่องจากข้อกำหนดด้านการปล่อยระบายสารมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งนับวันจะมีความเข้มงวดมากขึ้น ทำให้ไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐกิจหากจะใช้เตาเผาในการกำจัดขยะอย่างเดียวโดยไม่มีการผลิตพลังงานด้วย

เทคโนโลยีเตาเผาขยะชุมชนอาจแบ่งออกได้ตามลักษณะการเผาไหม้ออกเป็น แบบใช้ตะกรับ (Grate Firing System) ระบบ Fluidized Bed (ทั้งแบบ Circulating และ Stationary) ซึ่งในที่นี้จะตัวอย่างเฉพาะเตาเผาแบบ Grate Firing เท่านั้น โดยทั่วไประบบเตาเผาแบบ Grate Firing แบ่ง ออกได้ดังนี้ (ภาพที่ 2.49)

- Roller Grates
- Reciprocating Grates
- Reverse feed Grates
- Counter reciprocating Grates



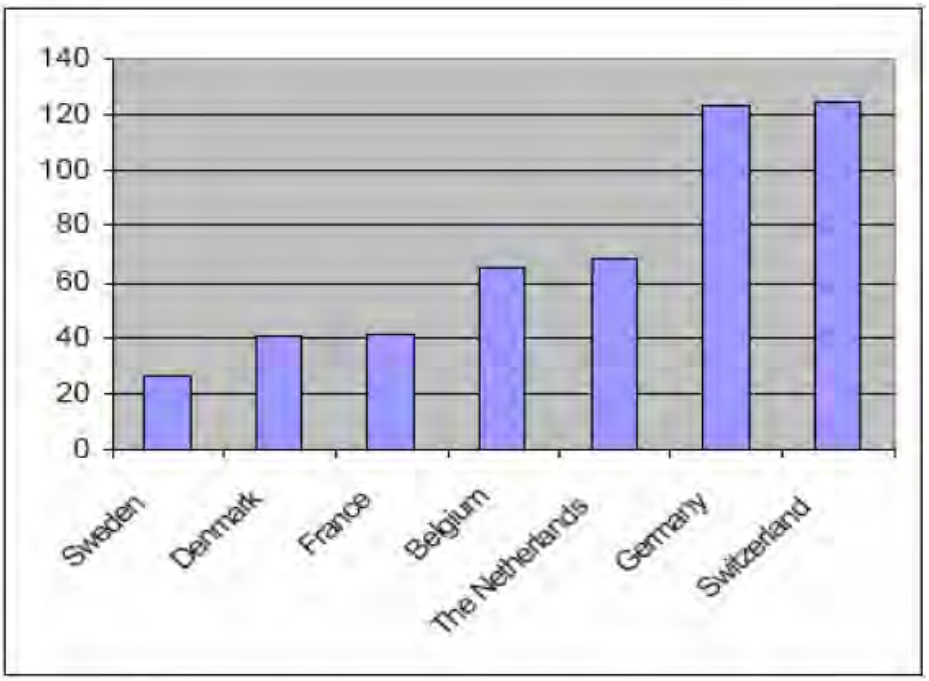
ภาพที่ 2.49 ระบบเตาเผาแบบตะกรับที่ใช้กับเตาเผาขยะชุมชน

ในระบบตะกรับแต่ละชนิดจะมีการจัดวางลักษณะของห้องเผาไหม้และตำแหน่งการจ่ายอากาศส่วนที่สองที่แตกต่างกันออกไปเพื่อการเผาไหม้ที่เหมาะสม ซึ่งอากาศส่วนที่ 1 จะจ่ายเข้าทางด้านล่างของตะกรับเพื่อช่วยการเผาไหม้ แต่อาจทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงเกินไปในบริเวณนี้เมื่อเผาไหม้ขยะที่มีค่าความร้อนสูง และทำให้เป็นข้อด้อยของระบบนี้เนื่องจากตะกรับอาจหลอมละลายและเสียหายได้ จึงได้มีการพัฒนาระบบตะกรับแบบหล่อเย็นด้วยน้ำ (Water Cooled Bar) และซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และลดการเกิด CO และ NO อย่างไรก็ตาม ระบบนี้จะมีความซับซ้อนในการติดตั้งและการบำรุงรักษา กระบวนการที่เกิดขึ้นบนแนวตระกรับแบ่งออกเป็น

- ขั้นตอนที่ทำให้ขยะแห้ง (Drying of Waste)
- ขั้นตอนที่จะเริ่มการเผาไหม้ (Devolatilization)
- ขั้นตอนการเผาไหม้ (Combustion)
- -ขั้นตอนหลังการเผาไหม้ (After Burning)

อย่างไรก็ตาม เป็นการยากที่จะเปรียบเทียบต้นทุนในการเผา เนื่องจากมีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศและขึ้นอยู่กับขนาดของเตาเผา อายุการใช้งาน มาตรฐานการ

ป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่บังคับใช้ ้รายได้จากการขายพลังงาน หรือวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ สำหรับประเทศทางยุโรปเหนือที่ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการเผาขยะชุมชนจะมีต้นทุนสำหรับเตาเผาและเครื่องกำเนิดไอน้ำประมาณ 1/3 ของมูลค่าการลงทุนรวม ขณะที่การลงทุนในระบบทำความสะอาดก๊าซไอเสียสูงถึง 2/3 ของมูลค่าการลงทุนรวม แต่ในบางประเทศ เช่น สหราชอาณาจักร ฝรั่งเศส หรือสเปน กลับมีต้นทุนของระบบทำความสะอาดก๊าซไอเสียคิดเป็นเพียงร้อยละ 20 ของต้นทุนรวม ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างในเทคโนโลยีที่ใช้ โดยทั่วไปเทคโนโลยีที่ใหม่กว่าจะมีต้นทุนที่ถูกกว่า ภาพที่ 2.50 แสดงต้นทุนในการเผาขยะชุมชนสำหรับประเทศต่างๆ ในยุโรป เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เท่ากัน



ภาพที่ 2.50 ต้นทุนในการเผาขยะชุมชน (หน่วยเป็น ยูโรต่อตัน)

2.2.4 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (Municipal Solid Waste Gasification)

2.2.4.1 บทนำ

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (Gasification) เป็นกระบวนการแปรรูปขยะชมชนให้เกิดก๊าซด้วยปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) กล่าวคือ สารอินทรีย์ในขยะชุมชนจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน เรียกว่า producer gas ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นก๊าซทำปฏิกิริยาก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 3–5 MJ/Nm^3 แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นก๊าซทำปฏิกิริยา ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าคือ ประมาณ 15–20 MJ/Nm^3

1) กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Process)

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยกระบวนการสลายตัว (Decomposition) และกระบวนการกลั่นสลาย (Devolatilization) ของโมเลกุลสารอินทรีย์ในขยะชุมชนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1200–1400 ºC ในบรรยากาศที่ควบคุมปริมาณออกซิเจนเพื่อผลิตสารระเหยและถ่านชาร์ (Char) ในขั้นตอนของกระบวนการกลั่นสลายหรือที่เรียกว่าไพโรไลซิส (Pyrolysis) ชีวมวลจะสลายตัวด้วยความร้อนเกิดเป็นสารระเหย เช่น มีเทน และส่วนที่เหลือยังคงสภาพของแข็งอยู่เรียกว่า ถ่านชาร์

สารระเหยจะทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ต่อที่อุณหภูมิสูงหรือปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Secondary Reaction) ในขณะที่ถ่านชาร์จะถูกgasified ต่อโดยอากาศ ออกซิเจนหรือไอน้ำได้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$[CH_2O] + O_2 + C + \text{Heat} \longrightarrow CO_2 + CO + H_2O + \text{Hydrocarbons} + \text{Heat}$$

นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาทุติยภูมิที่เกิดต่อเนื่อง ได้แก่

- ถ่านชาร์และไฮโดรเจนจะถูกออกซิไดซ์โดยอากาศ ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนในการอบขยะชุมชนให้แห้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยาและทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยาอื่นๆ ด้วย

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 393\ MJ$$

- ปฏิกิริยาระหว่างถ่านชาร์กับไอน้ำ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

$$C + H_2O \longrightarrow H_2 + CO - 131.4\ MJ$$

- ปฏิกิริยาระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนกับไอน้ำเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ ก๊าซไฮโดรเจน

$$C_xH_{2y} + xH_2O \longrightarrow CO + (x+y)H_2 + heat$$

- ปฏิกิริยา Boudouard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับถ่านชาร์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO - 172.6\ MJ$$

- ปฏิกิริยา Water-Gas Shift ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

$$CO_2 + H_2 \longrightarrow CO + H_2O + 41.2\ MJ$$

- ปฏิกิริยา Methane formation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 + 75\ MJ$$

$$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O + 206\ MJ$$

ปฏิกิริยาที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยหลักที่จะกำหนดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว คือ อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ เช่น ถ้า Residence Time ในบริเวณ Hot Zone ของเครื่องปฏิกรณ์น้อยเกินไปหรืออุณหภูมิต่ำเกินไป จะทำให้โมเลกุลขนาดกลางไม่เกิดการสันดาปและจะหลุดออกไปเกิดการควบแน่นที่บริเวณ Reduction Zone เป็นน้ำมันทาร์

รูปแบบการใช้งานก๊าซเชื้อเพลิง (เช่น ให้ความร้อนโดยตรง ผลิตไฟฟ้าหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพาหนะ) จะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง การกำจัดปริมาณของน้ำมันทาร์และฝุ่นละอองในก๊าซเชื้อเพลิง ปัจจัยที่เป็นกำหนดสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง คือ ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ สภาวะความดันและอุณหภูมิ และคุณลักษณะของขยะชุมชน คุณลักษณะของขยะชุมชนจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมทางด้านเคมี ความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ ในแง่ของประสิทธิภาพของระบบและคุณภาพของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้สามารถนำไปเผาในกังหันก๊าซเครื่องยนต์สันดาปภายในหรือหม้อน้ำ

2) ส่วนประกอบของระบบ Gasification

2.1) ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier

เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier สามารถแบ่งออกได้เป็น Downdraft, Updraft, Cross Current และ Fluid Bed Gasifier ตารางที่ 2.33 แสดงลักษณะที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบต่างๆ

(1) Updraft Gasifier

เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้เป็นแบบที่ใช้เริ่มแรกและเป็นแบบที่ง่ายที่สุด เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเครื่องและอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้นที่ Combustion Zone เมื่ออากาศผ่านเข้าไป จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะมีอุณหภูมิสูงและจะถูกส่งผ่านไปยัง Reduction Zone ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของเชื้อเพลิง และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200 - 500 ºC หลังจากนั้นก๊าซก็จะไหลเข้าสู่ชั้นของเชื้อเพลิงที่ชื้น

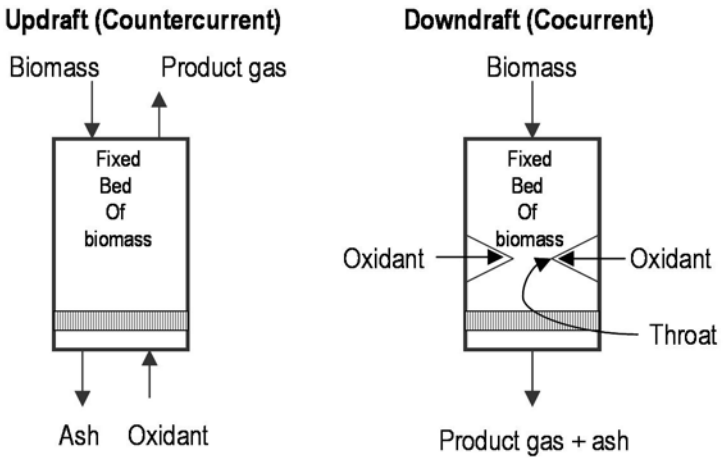
ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier มีอุณหภูมิไม่สูงนัก และมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์มาก (อาจมีมากถึง 20% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวล) ทำให้มีค่าความร้อนมาก จึงจำเป็นต้องมี หน่วยทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงก่อนนำเชื้อเพลิงไปหมุนกังหันก๊าซ ข้อดีหลักของเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier คือ ติดตั้งง่ายและมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง

(2) Downdraft Gasifier

เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบนี้ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันทาร์ในก๊าซเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ อากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 2.51 ผ่านกลุ่มของหัวฉีด (Tuyers) ก๊าซที่ได้จาก Combustion zone จะถูก Reduced ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน ขณะเดียวกันในชั้นของเชื้อเพลิงที่อยู่ทางด้านบนของโซน Combustion จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากทำให้เกิดการกลั่นสลาย และน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนทำให้น้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวเป็น ก๊าซซึ่งการแตกตัวนี้จะเกิดที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง 800–1,000 ºC ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 ºC ปฏิกิริยาดูดความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิต่ำลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวปฏิกิริยาคายความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซที่ผ่านโซน Combustion จะมีส่วนประกอบของน้ำมันทาร์ลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 ของน้ำมันทาร์ที่ได้จาก Updraft Gasifier และก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะสะอาดกว่า และมีความน่าเชื่อถือสำหรับเชื้อเพลิงแห้ง (มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 30) เครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft Gasifier จึงเหมาะกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดเล็กที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 500 kg h^{-1} หรือ 500 kWe

ตารางที่ 2.33 Gasification Reactor Types

Fixed bed	
Downdraft	Solid Moves Down, Gas Moves Down
Updraft	Solid Moves Down, Gas Moves Up
Concurrent	Solid and Gas Move in Same Direction – Downdraft
Countercurrent	Solid and Gas Move in Opposite Directions – Updraft
Cross-current	Solid Moves Down, Gas Moves at Right Angles
Variations	Stirred Bed; Two-Stage Gasifier Fluid Bed
Single reactor	Low Gas Velocity, Insert Solid Stays in Reactor
Fast fluid bed	Inert Solid is elutriated with Product Gas and Recycled
Circulating bed	Inert Solid is Elutriated, Separated and Recalculated; sometimes also refers to Fast Fluid Bed or Twin-Reactor Systems
Entrained Bed	Usually no inert solid; highest gas Velocity of Lean-Phase



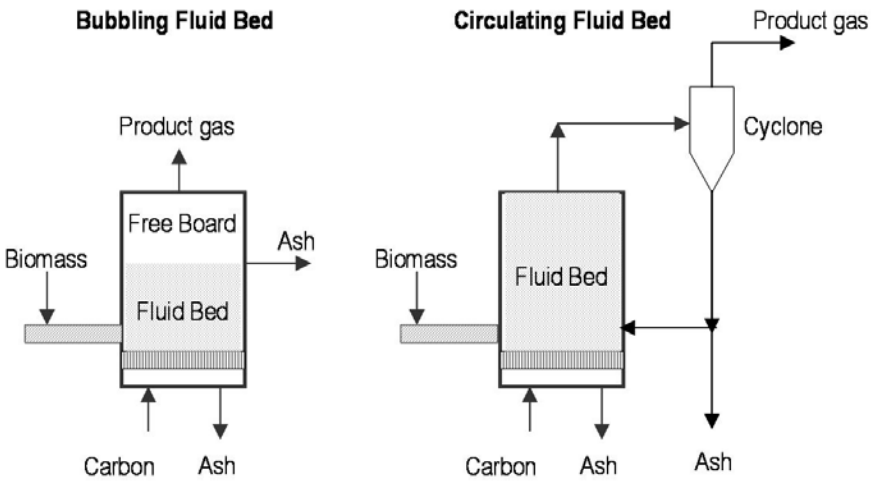
ภาพที่ 2.51 Fixed-Bed Gasifier Types

(3) Fluid bed Gasifier

การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการทำงานของกระบวนการในระบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีและสภาพทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงโดยจะเกิดปัญหาของ Slag ที่เกิดขึ้นมากเกินไป จึงก่อให้เกิดการอุดตันในเครื่องปฏิกรณ์บ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier ขึ้น เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง เมื่อเราเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านสูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายกับของไหล ดังแสดงในภาพที่ 2.52 ภายในเครื่อง

ปฏิกรณ์ จะใส่วัสดุเฉื่อย (Inert Material) ซึ่งอาจเป็น ทราย อลูมิน่าหรือออกไซด์ของโลหะที่ทนความร้อนสูงและไม่เกิดการหลอมรวมตัวกัน โดยมีแผ่นที่เจาะรูมารองรับตัวกลาง เหล่านี้ที่ตอนล่างของเครื่องปฏิกรณ์ แผ่นที่เจาะรูนี้จะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวแบบฟลูอิดไดเซชันอย่างทั่วถึงของเบดโดยการผ่านอากาศหรือออกซิเจนเข้าสู่ตอนล่างของแผ่นรองรับ ซึ่งความเร็วของอากาศหรือออกซิเจนที่ผ่านเข้าไปต้องมีค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวกลางมีสภาพแขวนลอย (Suspension)

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier จะมีปริมาณน้ำมันทาร์อยู่ระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft Gasifier และ Downdraft Gasifier



ภาพที่ 2.52 Principles of Single and Circulating Fluid Bed Gasifiers

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier คือ การสูญเสียสภาพ Fluidization เนื่องจากโลหะอัลคาไลน์จากเถ้าของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น (เช่น โซเดียมคาร์บอเนต หรือโปตัสเซียมคาร์บอเนต) จะรวมตัวกับซิลิกาในทรายซึ่งนิยมใช้เป็นตัวกลางในเบด เกิดเป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้ตัวกลางหลอมรวมกันสูญเสียสภาพ Fluidization

อย่างไรก็ตาม การสูญเสียคาร์บอนที่ติดไปกับเถ้าอาจทำให้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier ไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้งานขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงไปด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier มีข้อดี คือ สามารถเพิ่มขนาดได้ที่ค่าความเชื่อมั่นสูง นอกจากนี้ยังมีระบบ Twin-Bed และCirculating Fluidized Beds ซึ่งสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงเกือบทุกประเภท

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid Bed Gasifier มีข้อดีคือมีการผสมที่ปั่นป่วนมาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าสูง มีการผสมที่ดีของ Solid Phase ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและสามารถควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ได้ค่อนข้างง่าย ข้อเสียของเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ คือ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นถ่านชาร์ออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าสูงจึงต้องนำ Cyclone มาใช้กับระบบด้วย

(4) Circulating Fluid Bed Gasifier

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Circulating Fluid Bed Gasifier พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Carbon Conversion โดยอนุภาคเชื้อเพลิงจะถูกรีไซเคิลกลับมายังเบดโดยความเร็วในการฟลูอิดไดซ์ (Fluidizing Velocity) จะต้องสูงพอที่จะทำให้อนุภาคลอยในปริมาณมาก

(5) Entrained Bed Gasifier

ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained Bed Gasifier จะไม่มีวัสดุ inert แต่เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องลดขนาดให้เล็กมาก โดยปกติเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้จะเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,200-1,500 ºC ซึ่งขึ้นกับว่าจะใช้อากาศหรือออกซิเจน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ จะมีปริมาณน้ำมันทาร์ และสารไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูง จึงมีปัญหาเรื่องการเลือกใช้วัสดุและการหลอมตัวของเถ้าจะให้ค่า Carbon Conversion สูงถึง 100 % อนึ่งพบว่ามีการใช้การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชนโดยระบบนี้น้อย

ตารางที่ 2.34 คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier แบบต่างๆ

Downdraft	**Updraft**
Simple, reliable and proven for certain flues	Very simple and robust construction
Relatively simple construction	Low exit gas temperature
Close size specification required on feedstock	High thermal efficiency
Low moisture fuels required	Product gas is very dirty with high levels of tars
Relatively clean gas is produced	High carbon conversion
High exit gas temperature	Low ash carryover
Possible ash fusion and clinker formation on grate	High residence time of solids
Low specific capacity	Product gas suitable for direct firing
High residence time of solids	Extensive gas cleanup needed for engines
Potential high carbon conversion	Good turndown
Low ash carryover	Very high conversion efficiency
Limited turndown	Good scale-up potential
High conversion efficiency	
Very limited scale-up potential with low maximum size	
Bubbling fluid bed	**Circulating fluid bed**
Tolerates variations in fuel quality	Relatively simple construction
Greater tolerance to particle size range than fixed beds	Greater tolerance to particle size range than fixed beds
Low feedstock inventory	Good temperature control and high reaction rates
Good temperature control and high reaction rates	In-bed catalytic processing not possible
Good gas-solid contact and mixing	Moderate tar levels in product gas
In-bed catalytic processing possible	High carbon conversion
Moderate tar levels in product gas	Good gas-solid contact and mixing
Higher particulates in the product gas than fixed beds	Operation can be more difficult than fixed beds
Carbon loss with ash	High specific capacity
Can operate at partial load	High conversion efficiency
Limited turn down	Limited turn down
Easily started and stopped	Very good scale-up potential
High conversion efficiency	
High specific capacity	
Good scale-up potential	
Entrained flow	**Twin fluid bed**
Costly feed preparation needed for woody biomass	Complex and hence costly design
Low feedstock inventory	Gas has moderate tar levels requiring cracking or cleaning
High temperature give good gas quality	Catalyst can be added to fluid bed
Materials of construction problems with high temperatures	Good gas-solid contact and mixing
Good gas-solid contact and mixing	MHV gas produced using air and without requiring oxygen
Produces very low-tar gas with little methane	Relatively low efficiency
Carbon loss with ash	High specific capacity
Potential slugging of ash	Complexity requires large capacities of > 5 th-1 for viabilit
High conversion efficiency	Scale-up possible but complex
High specific capacity	
Only suitable for large scale applications above ~ 10 th-1	
Limited turndown	
Very good scale-up potential	

การเลือกชนิดเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier นั้นขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตดังต่อไปนี้

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

2.2) Products of Gasification

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์และออกซิแดนท์ที่ใช้ โดยทางทฤษฎีจะคิดว่าน้ำมันทาร์ สารไฮโดรคาร์บอน และถ่านชาร์จะเปลี่ยนเป็นก๊าซเชื้อเพลิงทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ แต่ระดับของการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับรูปร่างและลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ด้วย ซึ่งคุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.35

ตารางที่ 2.35 คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ

	Temperature (°C)		**Tars**	**Particulates**	**Turn-down**	**Scale-up ability**	**Current Capacity Max. (t h^{-1})**	**MWe[a]**	
	Reaction	**Exit gas**						**Min.**	**Max.**
Fixed bed									
Downdraft	1000	800	v. low	moderate	Good	poor	0.5	0.1	1
Updraft	1000	250	v. high	moderate	Good	good	10[c]	1	10
Cross-current	900	900	v. high	high	Fair	poor	1	0.1	2
Fluid bed									
Single reactor	850	800	fair	high	Good	good	10[c]	1	20
Fast fluid bed	850	850	low	v. high	Good	v. good	20[c]	2	50
Circulating bed	850	850	low	v. high	Good	v. good	20[c]	2	100
Entrained bed	1000	1000	low	v. high	Poor	good	20[c]	5	100
Twin bed	800	700	high	high	Fair	good	10[c]	2	50
Moving bed									
Multiple hearth	700	600	high	low	Poor	good	5	1	10
Horizontal moving bed	700	600	high	low	Fair	fair	5	1	10
Sloping hearth	800	700	low	low	Poor	fair	2	0.5	4
Screw/auger kiln	800	700	high	low	Fair	fair	2	0.5	4
Other									
Rotary kiln	800	800	high	high	Poor	fair	10[c]	2	30
Cyclone reactors	900	900	low	v. high	Poor	fair	5	1	10

[a] at 36% overall efficiency

[b] sometimes called moving bed; the biomass does moves slowly

[c] capable of scale-up to higher levels

2.3) การทำความสะอาดก๊าซ (Gas Cleaning)

การทำก๊าซเชื้อเพลิงจากเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ให้สะอาดนับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการนำก๊าซเชื้อเพลิงมาเผาไหม้ในกังหันก๊าซ เนื่องจากเป็นการกำจัดและป้องกันปัญหาด้านมลภาวะที่อาจจะเกิดขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและลดปัญหาการเสียหายของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเนื่องจากการกัดกร่อนของก๊าซกรด หรือการสึกกร่อนด้วยอนุภาคของแข็ง

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ Gasifier จะมีสารเจือปนผลกระทบจากสารเจือปนต่อระบบ และวิธีในการทำความสะอาดก๊าซดังแสดงในตารางที่ 2.36

ตารางที่ 2.36 Fuel gas contaminants, problems and cleanup processes

Contaminant	Examples	Problems	Cleanup method
Particulates	Ash, char, fluid bed materials	Erosion	Filtration, scrubbing
Alkali metals	Sodium and potassium compounds	Hot corrosion	Cooling, condensation, filtration,
Fuel nitrogen	Mainly NH_3 and HCN	No_x formation	adsorption Scrubbing, SCRa
Tars	Refractory aromatics	Clog filters, difficult to burn, deposit internally	Tar cracking, Tar removal
Sulfur, Chlorine	H_2S, HCl	Corrosion, emissions	Lime or dolomite scrubbing or absorption

2.2.4.2 ตัวอย่างการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน

จากการศึกษา (Juniper analysis, 1997) พบว่ามีการใช้เทคโนโลยี gasification ในหลายประเทศดังแสดงเป็นสัดส่วนเทียบกับการใช้เทคโนโลยีเตาเผาแบบ Fluidized bed และเตาเผาแบบตะกรับดังรายละเอียดในตารางที่ 2.37

ตารางที่ 2.37 สัดส่วนการใช้เทคโนโลยี Gasification เปรียบเทียบกับเตาเผาแบบ Fluidized bed และเตาเผาแบบตะกรับ

Purchasing preferences for MSW treatment			
Split by type	**Pyrolysis & Gasification Techniques**	**Fluidized Bed Combustion**	**Conventional moving Grates**
Germany	35%	10%	55%
France	9%	34%	57%
UK	14%	34%	50%
Switzerland	30%	20%	50%
Belglum	3%	10%	87%
Spain	15%	35%	50%
Netherland	5%	10%	85%
Scandinnia	4%	36%	60%
Italy	35%	30%	85%

Remark: percentages are our estimate for market penetration expressed as maximal average of purchasing preference made in each country between 1997 and 2006

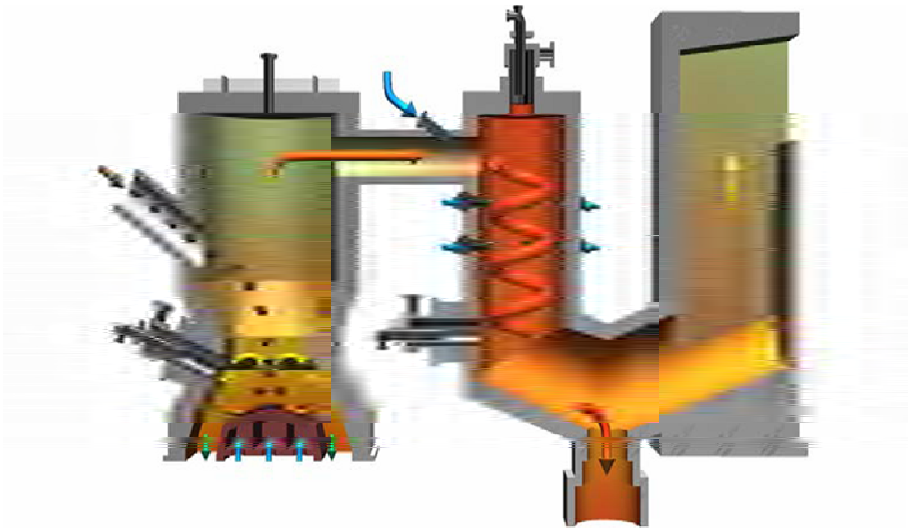
Source: Juniper survey Industry interview

เทคโนโลยีเตาเผาขยะชุมชนแบบ Fluidized Bed Type Gasification and Ash-Melting System หรือ TwinRec ของ EBARA ได้ผสมผสานเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบ Gasification ซึ่งทำงานแบบ Fluidized Bed เข้ากับระบบการหลอมขี้เถ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.53 ซึ่งมีการใช้งานในการกำจัดขยะชุมชนในหลายประเทศดังแสดงในตารางที่ 2.38

ตารางที่ 2.38 ตัวอย่างการใช้ gasification แบบ TwinRec ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

ชื่อที่ตั้ง หรือCluster	ความสามารถในการกำจัด		ความสามารถในการผลิตความร้อน (MW)	กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MW)	ปีที่เริ่มดำเนินการ
	ปริมาณขยะเข้า (ตัน/วัน)	ค่าความร้อน; LHV (MJ/kg)			
Sakata Area, ญี่ปุ่น	196	10.9	24.6	2	มี.ค. 2545
Kawaguchi, ญี่ปุ่น	420	13.0	63.0	12	พ.ย. 2545
UBE City, ญี่ปุ่น	198	12.5	28.5	4	พ.ย. 2546
Chuno Union, ญี่ปุ่น	168	11.3	21.9	-	มี.ค. 2547
Minami-Shinshu wide area union, ญี่ปุ่น	93	8.4	9.0	-	มี.ค. 2547
Nagareyama city, ญี่ปุ่น	200	11.7	27.9	-	ก.พ. 2547
กัวลาลัมเปอร์ มาเลเซีย	1500	9.6	166.5	-	มี.ค. 2549
Hino City, ญี่ปุ่น	180	7.5	15.6	-	ส.ค. 2550

ที่มา: www.ebara.ch



ภาพที่ 2.53 ส่วนประกอบที่สำคัญของ TwinRec - Gasification ซึ่งทำงานแบบ Fluidized Bed และระบบการหลอมขี้เถ้า (Ash Melting system)

การทำงานของเตาเผาขยะชุมชนจะใช้หลักการของการทำให้เกิดก๊าซ (Gasification) ชนิด Fluidized Bed ก๊าซที่เกิดขึ้นจะไหลเข้าไปเผาไหม้ซ้ำในห้องเผาไหม้ที่สองที่อยู่ติดกัน และทำให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้ได้สูงถึง 1,300 ºC–1,450ºC จนหลอมเหลวกลาย

เป็น Slag ก่อนจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่สาม จากการศึกษาพบว่าเมื่อปฏิบัติงานเตาเผาขยะด้วยอุณหภูมิที่สูงประมาณ 1,350 °C และเวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผาไหม้นานกว่า 1 วินาทีจะสามารถทำลายสารไดออกซินที่เกิดขึ้นได้ ของเสียที่เหลือจากการเผาขยะมูลฝอยจะมีโลหะหนัก และไดออกซินต่ำกว่าค่ามาตรฐานและยังสามารถนำโลหะที่เหลือไปใช้ใหม่ ส่วน Slag สามารถนำมาผสมกับวัสดุรองพื้นถนนหรือทำอิฐปูทางเท้าได้

2.2.4.3 การศึกษาข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี Gasification

สรุปข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี Gasification ได้ดังตารางที่ 2.39 ดังนี้

ตารางที่ 2.39 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี gasification

ข้อเด่น	ข้อด้อย
▪ สามารถควบคุมมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ: มีระบบทำความสะอาดก๊าซก่อนการเผาไหม้ ▪ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสามารถนำไปขายได้ ▪ มีอัตรากรไหลของก๊าซต่ำ ▪ เกิดปฏิกิริยาในระบบที่ไม่มีออกซิเจนจึงไม่มีการเกิดไดออกซินหรือฟูราน ▪ ให้ประสิทธิภาพความร้อนของระบบสูงเมื่อนำไปใช้กับระบบ combined/ integrated cycle ▪ โลหะไม่ถูกออกซิไดส์ ▪ เป็นระบบที่ต้องการความร้อนต่ำ (low energy input)	▪ ราคาแพง ▪ ต้องใช้ความดันในระบบสูงโดยเฉพาะในกระบวนการ Hydro Conversion ▪ ในกรณีที่มีการเผาไหม้ PCV สารคลอรีนใน PVC อาจก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ▪ มีกระบวนการในการทำความสะอาดก๊าซที่ยุ่งยาก (NH_3 H_2S)

2.2.5 เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)

2.2.5.1 บทนำ

เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คเป็นเทคโนโลยีการผลิตความร้อนที่ได้รับการยอมรับกันทั่วโลกเริ่มมีการใช้งานกันในวงการอุตสาหกรรมโลหะในศตวรรษที่ 19 ในยุโรปและมีการนำมาใช้งานกันมากขึ้นในอุตสาหกรรมเคมีในช่วงศตวรรษที่ 20 โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการสกัดก๊าซอะเซทิลีนจากก๊าซธรรมชาติ นอกจากการใช้งานในวงการอุตสาหกรรมยังมีการนำมาใช้ในงานด้านอวกาศโดยองค์การนาซ่า (National Aeronautics and Space Administration; NASA) ของสหรัฐอเมริกาด้วยในช่วงปี 1960 สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการกำจัดขยะชุมชน ในปัจจุบันยังอยู่ในขั้นของการศึกษาวิจัยและพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้มีความเหมาะสมทั้งด้านความปลอดภัยและความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

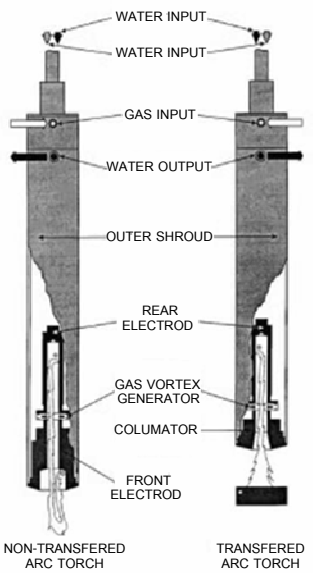
การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานในการกำจัดขยะชุมชนนั้น สืบเนื่องมาจากสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีเตาเผาและการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ได้แก่ ลดปริมาณสารไดออกซินที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้โดยใช้เตาเผา ช่วยยืดอายุของการใช้หลุมฝังกลบและประโยชน์ของการนำกลับคืนวัสดุ ทั้งในรูปของวัสดุต่างๆ เช่น โลหะ หรือวัสดุที่หลอมอยู่ในรูปของแก้ว (Glassy หรือ Slag) หรือในรูปของพลังงานที่ผลิตจากการความร้อนหรือก๊าซที่เกิดขึ้น

2.2.5.2 ประเภทองค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบ

เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คเป็นเทคโนโลยีด้านพลังงานขั้นสูงที่ใช้ในการกำจัดขยะชุมชนได้หลายลักษณะ มีอุณหภูมิในห้องเผา (Plasma Arc Field) สูงประมาณ 5,000-15,000 °C ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยการยิงกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซที่มีความดันต่ำ (Low Pressure Gas Stream) ซึ่งโซนที่มีอุณหภูมิสูงจัดนี้สามารถใช้ในการแยกอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบขยะมูลฝอยได้โดยการป้อนขยะมูลฝอยเข้าไปใน Plasma Arc Field โดยตรงหรือใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนสำหรับการเผาไหม้ (Combustion) เพื่อนำก๊าซที่เกิดขึ้นไปผลิตเป็นพลังงานกระแสไฟฟ้าในรูปเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำและนำไอน้ำผลิตเป็นพลังงานกระแสไฟฟ้าหรือนำก๊าซที่เกิดขึ้นมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดก๊าซก่อนนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) ข้อดีของเทคโนโลยีนี้ คือ สามารถกำจัดขยะชุมชนได้ ทั้งในรูปของของแข็ง ของเหลว และกึ่งแข็งกึ่งเหลว เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คมีองค์ประกอบหรืออุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (Plasma Reactor) ระบบควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Control) และระบบผลิตพลังงาน (Power Generation Unit)

1) เครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (Plasma Reactor) เป็นระบบปิด (Enclosed Reactor) ขยะชุมชนจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ แล้วเกิดการสลายตัวหรือการแยกอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบขยะชุมชนจะดีขึ้น ก๊าซที่มีความดันต่ำ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน Carbon Monoxide อากาศ จะถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ Plasma Torch หรือโดยการใช้กระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนผ่าน Electrode องค์ประกอบหลักของเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา ได้แก่ Plasma Torch หรือ Electrode ห้องปฏิกรณ์ (Plasma Reactor) ช่องป้อนขยะมูลฝอย ช่องระบายก๊าซ (Gas Exit) และช่องระบาย Slag

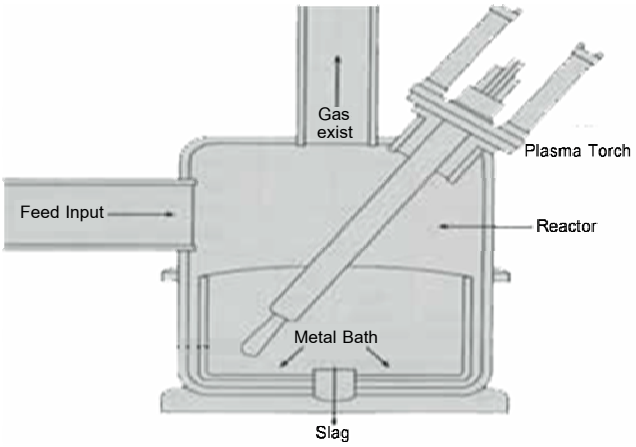
1.1) Plasma Torch แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ Transferred Torch และ Non-transferred Torch สำหรับ Transferred Torch จะเป็นการสร้างสนามพลาสมาระหว่างปลายของ Torch กับ Metal Bath พลังงานไฟฟ้าจะถูกป้อนผ่านแท่ง Graphite Electrode และทำให้เกิดประกายไฟหรือArc ขึ้น ในขณะที่ Non-Transferred Torch จะมีการทำปฏิกิริยากันภายใน Torch โดยก๊าซจะถูกป้อนผ่านเข้าไปใน Torch และถูกทำให้ร้อนก่อนคายพลังงานออกมาทางปลายของ Torch ภาพที่ 2.54 แสดงการสร้างสนามพลาสมาโดยการใช้ Transferred Torch, Non-Transferred Torch และ Electrode



ภาพที่ 2.54 รูปแบบของ Plasma Torch โดยการใช้ Transferred Torch และ Non-transferred Torch

1.2) ห้องปฏิกรณ์พลาสมา (Plasma Reactor) การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาในการกำจัดขยะชุมชนที่พบในปัจจุบันนั้น แบ่งออกเป็น 2 แบบ โดยแบบแรกนั้นพัฒนาและนำมาใช้โดย Westinghouse Plasma Corporation และ Hitachi Metals Company Limited ซึ่งมี

การติดตั้ง Torch ที่ใช้สร้างพลาสมาอาร์คอยู่นอกเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาบางส่วน ในขั้นตอนการสร้างพลาสมาอาร์คนั้น ก๊าซที่มีความดันต่ำจะไหลผ่านน้ำหล่อเย็นของ Non-Transferred Torch ที่อยู่ภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นก๊าซร้อนจึงไหลออกจาก Torch เข้าไปยังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อหลอมละลายและสลายขยะชุมชนให้เป็นก๊าซต่อไป ส่วนแบบที่สองนั้นจะ เป็นการติดตั้ง Torch ในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (In-Situ Plasma Torch Reactor) ดังในภาพที่ 2.55 Torch ที่ติดตั้งใช้งานนั้นสามารถใช้ได้ทั้ง Transferred Torch และ Non-Transferred Torch ในกรณีที่ใช้ Transferred Torch เป็นแหล่งผลิตพลาสมาอาร์ค จะมีการติดตั้งแท่ง Electrode ยื่นเข้าไปภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่ง Electrical Arc ที่ใช้ในการย่อยสลายขยะชุมชนหรือทำให้ขยะชุมชนแตกตัวกลายเป็น ion จะถูกสร้างขึ้นระหว่างส่วนปลายของ Torch กับส่วนผนังด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ หรือ Slag ที่อยู่บริเวณก้นของเครื่องปฏิกรณ์ โดยการใช้ก๊าซความดันต่ำมาอุ่นให้ร้อนในส่วนของทอร์คที่อยู่ด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์ สำหรับในกรณีที่ใช้ Non-Transferred Torch ในการสร้างพลาสมาอาร์ค ก๊าซที่แตกตัวเป็น ion จะถูกสร้างภายใน Torch แล้ว ก่อนที่จะปล่อยออกมาทางปลายของ Torch เพื่อใช้แยกสลายอะตอมของขยะชุมชนซึ่งทั้งสองกรณีจะใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยตรง



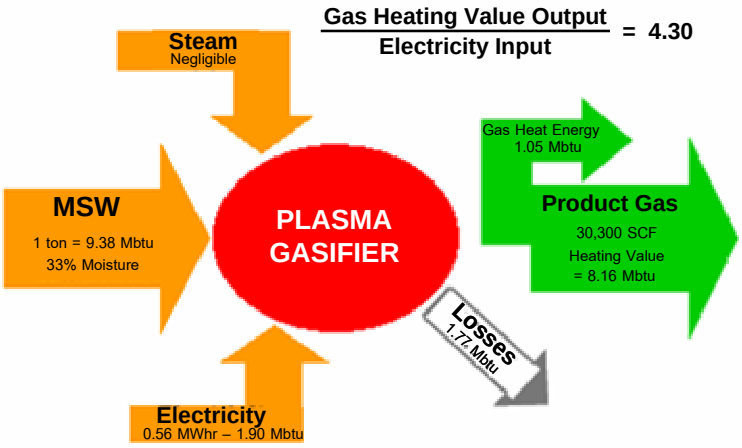
ภาพที่ 2.55 ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาแบบ In-Situ Plasma Torch Reactor

หลักการทำงานโดยทั่วไป เมื่อป้อนขยะเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์พลาสมาทางด้านบนหรือด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ ขยะชุมชนจะสัมผัสกับ Ionized Gas แล้วจะสลายตัวกลายสภาพเป็น Slag หรือเถ้าในรูปของของเหลวอยู่บริเวณก้นของเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในขยะชุมชนจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซที่เผาไหม้ได้และระบายออกทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์จะเห็นได้ว่าสิ่งที่ได้จากเทคโนโลยีนี้คือ ก๊าซที่เผาไหม้ได้ (Combustible Gas) และ Slag ซึ่งเป็นวัสดุที่มีลักษณะคล้ายแก้วที่เกิดจากกระบวนการ Verification ทั้งนี้โลหะหนักต่างๆที่ปนอยู่ใน

ขยะชุมชน เช่น ปรอท ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม อาจถูกเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นไอได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ หากเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิทำงานต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารเหล่านี้โลหะหนักเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Slag แต่ในกรณีที่อุณหภูมิในการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์สูงกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะหนักเหล่านั้น โลหะหนักที่ปนอยู่ในขยะชุมชนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไอระเหยหรือในรูปของก๊าซแทน

2) ระบบผลิตพลังงาน (Power Generation Unit)

เนื่องจากเทคโนโลยีพลาสมาเป็นระบบที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงในการสร้างพลาสมาอาร์คเพื่อใช้กำจัดขยะชุมชน ในขณะเดียวกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากระบบก็มีปริมาณสูงเช่นกันซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำมาผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในระบบหรือจำหน่าย (ภาพที่ 2.56) ค่าลงทุนอุปกรณ์ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบเพื่อใช้กำจัดขยะชุมชนนั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดอุปกรณ์ทั้งหมดของที่เลือกใช้ ในกรณีที่พลังงานที่ใช้มีในระบบมีปริมาณน้อยกว่าพลังงานที่ระบบผลิตได้ ระบบก็จะมีพลังงานเหลือจำหน่ายได้



ภาพที่ 2.56 แผนภูมิสมดุลพลังงานที่ใช้ในระบบพลาสมาอาร์ค

ที่มา: www.epa.gov/scienceforum

แนวทางการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบพลาสมาในปัจจุบันนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.1) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำ ก๊าซที่เผาไหม้ได้ (Combustible Gas) หรือ Synthesis Gas (Syngas) จากห้องปฏิกรณ์พลาสมาจะถูกเผาภายในห้องเผาแบบ Close-coupled Combustion Chamber จากนั้นก๊าซร้อนที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังหม้อไอน้ำ (Waste Heat

Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำและนำไอน้ำที่ได้ไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วน Flue Gas ที่เกิดขึ้นจากหม้อไอน้ำจะต้องผ่านระบบบำบัดมลพิษทางอากาศก่อนระบายออกสู่บรรยากาศต่อไป

2.2) การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Combustion Turbine ก๊าซที่เผาไหม้ได้ หรือ Syngas จากห้องปฏิกรณ์พลาสจำต้องผ่านการความสะอาดเพื่อกำจัด ก๊าซคลอรีน ซัลเฟอร์ ไอปรอท หรือก๊าซอื่นๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อ Turbine ออกก่อน โดยใช้ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศลักษณะเดียวกับที่ใช้งานใน Coal Gasification Plants หรือใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ก๊าซที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ใน Combined Cycle Combustion Turbine (CCCT) เพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป ข้อควรระวังสำหรับระบบนี้ คือ ระบบ CCCT ต้องการใช้ก๊าซที่มีค่าความร้อนค่อนข้างสม่ำเสมอหากใช้ก๊าซที่เผาไหม้ได้ที่มีค่าความร้อนที่แตกต่างกันมากๆ อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการดำเนินงานและทำให้ค่าดำเนินงานระบบสูงขึ้นไปอีก ยกตัวอย่างเช่น ขยะชุมชนซึ่งมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันมาก หรือมีค่าความชื้นสูงจะส่งผลให้ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้มีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ได้โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเสริม ซึ่งจะทำให้เกิดความซับซ้อนในการดำเนินงานมากขึ้น และยังส่งผลต่อค่าดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นด้วย

3) การควบคุมมลพิษเป็นระบบที่จำเป็นสำหรับการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค นอกจากเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาระบบผลิตพลังงาน แล้วยังมีระบบควบคุม/ป้องกันมลพิษที่อาจเกิดจากระบบ ได้แก่ มลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน มีรายละเอียดดังนี้

3.1) ระบบป้องกันและควบคุมมลพิษทางน้ำ: โรงไฟฟ้าทุกประเภทจะมีการใช้น้ำเพื่อการหล่อเย็นและผลิตไอน้ำโดยน้ำเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นนี้ไม่ต้องผ่านการบำบัดเป็นพิเศษแต่อย่างใด เนื่องจากมีการนำกลับไปหมุนเวียนใช้ประโยชน์ใหม่และไม่มีการปนเปื้อนเพราะไม่มีการสัมผัสกับสารมลพิษจากกระบวนการผลิตแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามจุดที่มีการใช้น้ำในปริมาณมาก และน้ำเสียที่เกิดขึ้นอาจมีการปนเปื้อนได้ คือ กระบวนการทำความสะอาด Syngas เพื่อกำจัดก๊าซคลอรีน ซัลเฟอร์ และไอสารเคมีอื่นๆ ก่อนส่งเข้าเครื่อง CCCT ดังนั้นน้ำเสียจากระบบควบแน่นและจาก Scrubber น้ำจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซนี้จะต้องถูกบำบัดก่อนระบายทิ้ง การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของเทคโนโลยีที่เลือกใช้ โดยทั่วไปชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้จะประกอบด้วย Scrubber ตัวกรอง (Filter) และการดูดซับ (Sorbent System) ระบบหมุนเวียนน้ำภายในระบบดังกล่าวจะต้องมีกระบวนการบำบัดสารที่ถูกกำจัดด้วยเช่นกันซึ่งค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับขนาดของระบบและความซับซ้อนของเทคโนโลยีที่เลือกใช้

3.2) ระบบป้องกันและควบคุมของแข็ง: ดังที่กล่าวข้างต้น ระบบพลาสมาอาร์คจะเปลี่ยนสภาพของขยะชุมชนกลายเป็นก๊าซที่เผาไหม้ได้ และของแข็งที่มีลักษณะคล้ายแก้ว

(Glassy Slag) ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการหลอมเหลวของสารอนินทรีย์ที่อยู่ในขยะมูลฝอย Slag ที่เกิดขึ้นจะต้องถูกนำมาทดสอบการชะละลายค่าความเป็นพิษ (Toxicity Characteristic Leaching Procedure: TCLP) ตามข้อกำหนดของ U.S. EPA. เพื่อตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก 8 ชนิดที่ถูกชะละลายออกมาจาก Slag ผลจากการทดสอบค่าการชะละลายของ Slag จาก Plasma Arc Gasification and Verification Plant เมืองฮอนโนลูลู ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ค่าโลหะหนักมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดโดย U.S. EPA. จึงสามารถกล่าวได้ว่าค่าโลหะหนักหรือสารอนินทรีย์ที่เปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของ Slag แล้วมีโอกาสที่จะถูกชะละลายออกสู่ธรรมชาติได้น้อยมาก

2.2.5.3 ศึกษาการใช้ของเทคโนโลยีพลาสมาอาร์คในต่างประเทศ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คในการกำจัดขยะชุมชน และแปรรูปเป็นพลังงานยังอยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนาระบบ และมีการใช้งานกับขยะชุมชนหรือของเสียเพียง 4 ประเภท คือ ขยะชุมชน ของเสียอันตราย ขยะมูลฝอยติดเชื้อ และเถ้าจากระบบเตาเผา ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาในประเทศสหรัฐอเมริกา และยุโรป โดยประเทศแถบเอเชียเริ่มมีการใช้งานในประเทศญี่ปุ่น รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.40

ทั้งนี้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คที่มีการติดตั้งที่ประเทศญี่ปุ่นมีเพียงแห่งเดียวเท่านั้นที่มีการนำพลังงานที่ได้จากระบบไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ ที่ Eco Valley เมือง Utashinai (ภาพที่ 2.57 และภาพที่ 2.58) มีปริมาณขยะเข้าสู่ระบบประมาณ 166 ตัน/วัน แบ่งเป็น Automobile Shredding Residue และขยะชุมชนอีกประมาณร้อยละ 50 โดยระบบสามารถรองรับปริมาณขยะชุมชนได้ทั้งหมดประมาณ 300 ตัน และออกแบบให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 8 เมกะวัตต์ (Westinghouse, 2003)

ตารางที่ 2.40 การใช้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คในการกำจัดขยะมูลฝอยในต่างประเทศ

รายละเอียด	ที่ตั้งโครงการ		
	ประเทศญี่ปุ่น		
	Yoshii	**Utashinai**	**ประเทศอิตาลี Rome**
Commissioning	1999	2002	2004 (Expected)
Throughput (tpd)	24	166	336
Feedstock	MSW	ASR[4/] and MSW	MSW
Reactor Type	External Torches[3/]	External Torches3/	External Torches [3/]
Syngas Usage	Waste Heat Boiler	Waste Heat Boiler	Combustion Turbine
Net Power Generated	None	Not available [1/A]	Yes, amount TBD
Air Pollution Control	Baghouse [2/]	Baghouse [2/]	Pre-combustion
Slag Usage	N/A	Now in testing	TBD

หมายเหตุ: 1/ ยังไม่มีการคำนวณหาค่าพลังงานที่ได้จากการทำงานของระบบ (ข้อมูลในปี 2002)

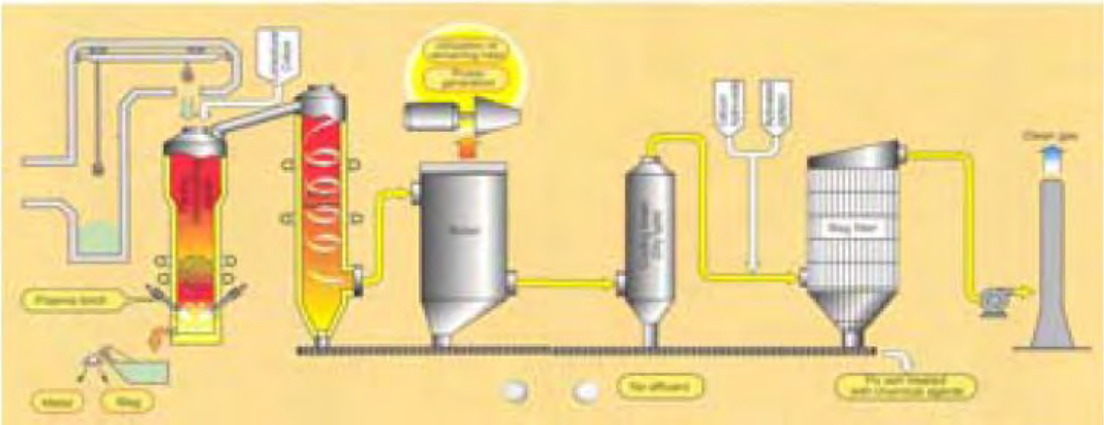
2/ การติดตั้งระบบ Bag house จะติดตั้งหลังจาก Combustion Chamber

3/ ทั้งสามโครงการใช้ทอร์คของ Westinghouse Plasma Corporation

4/ ASR หมายถึง Automobile Shredding Residue

ที่มา: City of Honolulu, Review of Plasma Arc Gasification and vitrification Technology for Waste Disposal (Final Report), January 23, 2003 โดย R.W. Beck, Inc: Available online on: http://www.opala.org/Tech/plasmaArc.pdf และ http://www/westinghouse-plasma.com/utashina.htm

ภาพที่ 2.57 ระบบพลาสมาอาร์ค ขนาด 200 ตัน/วัน เมือง Utashimai ประเทศญี่ปุ่น
ที่มา: http://www.epa.gov/sciforum/2005/pdfs/oeiposter/Bodurow_OEI30.pdf



ภาพที่ 2.58 แผนภาพระบบพลาสมาอาร์คแบบ WPC เมือง Utashimai ประเทศญี่ปุ่น
ที่มา: http://www.epa.gov/sciforum/2005/pdfs/oeiposter/Bodurow_OEI30.pdf

สำหรับการใช้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คในยุโรปในการกำจัดขยะชุมชนยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัยและพัฒนา โดยมีโรงงานสาธิตที่เมือง Ottawa ประเทศแคนาดาใช้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์คของ PlascoEnergy ที่พัฒนาจากโรงงานต้นแบบในเมือง Castellgali ประเทศสเปน ที่เปิดดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2547 โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานและวิจัยและพัฒนาค่าที่เหมาะสมในการเดินระบบเพื่อนำมาใช้ในโรงงานสาธิตที่เมือง Ottawa (ภาพที่ 2.59) ซึ่งสามารถกำจัดขยะชุมชน 85 ตัน/วัน โดยคาดว่าจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจำหน่ายได้ 4 MW นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้จากระบบอื่นๆ ได้แก่ เศษ slag ที่เป็นของแข็งซึ่งสามารถขายเป็น

ส่วนผสมที่ใช้ในการก่อสร้าง 150 กก./ตันขยะ ผลิตกระแสไฟฟ้า 1,400 KWh (combined cycle mode) ซัลเฟอร์ 5 กก./ตันขยะ

ภาพที่ 2.59 โรงงานสาธิต เมือง Ottawa ประเทศแคนาดา

นอกจากนี้ PlascoEnergy ได้วางแผนที่จะพัฒนาโรงงานที่สามารถกำจัดขยะชุมชนได้ 200 ตัน/วัน ซึ่งจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายได้ 12 MW ซึ่งใช้พื้นที่ประมาณ 5 เอเคอร์ หรือ 12.65 ไร่ในการก่อสร้าง

2.2.5.4 ศึกษาข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค

จากการศึกษา พบว่าเทคโนโลยีพลาสมาอาร์คที่พบในปัจจุบัน สามารถแบ่ง ออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ Plasma Arc Centrifugal Treatment (PACT), PLASCON หรือ In-flight Plasma Arc System และ STARTECH Plasma-electric Waste Converter (PWC) สามารถสรุปข้อเด่นและข้อด้อยของแต่ละเทคโนโลยีได้ดังตารางที่ 2.41 ถึง ตารางที่ 2.43

ตารางที่ 2.41 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี PACT

ข้อเด่น	ข้อด้อย
<u>ด้านเทคนิค</u> ▪ สามารถรองรับขยะชุมชนหรือของเสียได้หลากหลายประเภท ทั้งที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือเป็นของผสมรวมทั้งสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ แม้ว่าของเสียแต่ละประเภทจะมีจุดหลอมเหลวที่ต่างกัน ▪ เนื่องจากห้องปฏิกรณ์จะมีการหมุนอย่างช้าๆ ตลอดเวลาซึ่งทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จึงทำให้ Slag ที่ได้มีความแข็งแกร่ง และความทนทานนานขึ้น ▪ ปริมาณก๊าซที่เผาไหม้ได้ (Produced Gas/ Syngas) ที่เกิดจากกระบวนการน้อยกว่าระบบเตาเผาถึง 2% เมื่อ เทียบในขนาดที่เท่ากัน (Selinger,199) ▪ ปริมาณก๊าซที่ปล่อยออกจากระบบมีปริมาณน้อย ดังนั้น ค่าลงทุนระบบบำบัดมลพิษจึงลดลง ▪ มีกระบวนการทำงานภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง จึงสามารถลดปัญหาการเกิดไดออกซินได้ รวมทั้งเกิดกระบวนการสลายสารอินทรีย์โดยใช้ความร้อนอย่างสมบูรณ์ในห้องปฏิกรณ์ที่สองอีกด้วย ▪ ไม่ต้องเติมสารAdditives เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการหลอมกลายเป็นแก้ว ▪ ไม่จำเป็นต้องมีระบบบำบัดขั้นต้น (Pre - treatment)	**<u>ด้านเทคนิค</u>** ▪ การใช้งานกับขยะชุมชนยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ยังอยู่ในขั้นของการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งระบบขนาดใหญ่ (Commercial Scale) ยังมีไม่มากนัก ▪ มีข้อจำกัดเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้างห้องปฏิกรณ์ ซึ่งต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความร้อนสูงได้ หรือมีระบบฉนวนป้องกันความร้อนที่เพียงพอต่อการทำงานของระบบ ▪ เนื่องจากปัญหาค่าลงทุนในการก่อสร้างระบบค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงไม่มีความคุ้มทุนการใช้งานสำหรับระบบขนาดเล็ก

ตารางที่ 2.41 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี PACT

ข้อเด่น	ข้อด้อย
<u>ด้านสิ่งแวดล้อม</u> ▪ ระบบ PACT สามารถป้องกันการเกิด Fugitive Emissions ได้ เนื่องจาก - ห้องปฏิกรณ์แรกมีการทำงานที่สภาวะติดลบ Negative Pressure) ประมาณ-50 มิลลิบาร์ - ห้องปฏิกรณ์พลาสมาทั้งหมดมีการอุดรอยต่อด้วย Elastomer และใช้ผนังที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำ (Water-cooled Walls) ห้องปฏิกรณ์ถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศเป็นบวกค่าหนึ่ง (Atmosphere Positive Gauge Pressure) โดยไม่เกิดการรั่วไหล ▪ Slag ที่ได้จากห้องปฏิกรณ์ เมื่อนำไปทดสอบการชะละลายตามวิธีของ U.S.EPA. และ US Department of Energy แล้ว พบว่าสามารถทนต่อการชะละลายได้ดี ดังนั้นโอกาสที่โลหะหนักและสารปนเปื้อนต่างๆ ที่ถูกเปลี่ยนสภาพกลายเป็น Slag จะถูกชะละลายจึงน้อยลง สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปใช้แทน Portland Cement ในคอนกรีตได้บางส่วน หรือใช้เป็นวัสดุ Aggregate ที่มีน้ำหนักเบา หรือใช้แทนวัสดุทนไฟ (Mineral Wool) หรือใช้เป็น Foam Glass หรือ Packing Material หรือใช้ในงานตกแต่ง หินหรือกระเบื้อง	**<u>ด้านสิ่งแวดล้อม</u>** ▪ ต้องการระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ ก่อนระบายก๊าซออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากโลหะหนักบางตัวมีจุดเดือดต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้องปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไอระเหย เพื่อใช้ในการบำบัดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และฝุ่นละอองจากสารประกอบอนินทรีย์ ที่ปนอยู่ในขยะมูลฝอยหรือของเสีย ▪ ในกรณีที่ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศที่เลือกใช้เป็นกระบวนการดักจับ (Scrubber) ซึ่งจะทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น จึงต้องการระบบบำบัดน้ำเสียมารองรับด้วยเช่นกัน ▪ ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการไพโรไรซิส โดยใช้พลาสมาอาร์ค จะมีปริมาณมากกว่ากระบวนการ เผาไหม้แบบธรรมดา (Conventional Thermal Process) ▪ ในกรณีที่ขยะมูลฝอยชุมชนหรือของเสียมีโลหะหนัก (ปรอท ซีเซียม และแคดเมียม) เจือปนไอระเหยของโลหะหนักเหล่านี้อาจก่อให้เกิดผลกระทบ/ปัญหาด้านมลพิษ ทางอากาศได้

ที่มา: http://www.opala.org/TECH/**plasma**/PlasmaArc.pdf,
http://pacificsites.com/~retech/pact.htm
และ http://www.oztoxics.org/research/3000_hcbweb/

ตารางที่ 2.42 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยี PLASCON

ข้อเด่น	ข้อด้อย
<u>ด้านเทคนิค</u> ▪ สามารถกำจัดขยะชุมชนได้ทั้งในรูปของของเหลวและก๊าซ ส่วนของเสียในรูปอื่นๆ จะต้องผ่านการบำบัดขั้นต้นให้กลายเป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงหรือก๊าซก่อนป้อนเข้าระบบ ▪ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพในการ กำจัดสูงกว่า 99% ใช้ในการกำจัดขยะชุมชน/ของเสียที่กำจัดยาก เช่น CFC, Halon ▪ สามารถ Start-up หรือShutdown ระบบได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ▪ ใช้พนักงานในการบำรุงรักษาและตรวจสอบระบบน้อย ▪ มีความคุ้มทุน ▪ มีขนาดกะทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก โดยสามารถออกแบบให้เป็นแบบระบบบำบัดรวมซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ หรือเป็นระบบที่เคลื่อนย้ายได้	**<u>ด้านเทคนิค</u>** ▪ ต้องการระบบบำบัดขั้นต้น เพื่อปรับสภาพลักษณะสมบัติของขยะชุมชนหรือของเสียที่ป้อนเข้ามีความสม่ำเสมอ ▪ ในกรณีที่ของเสียมีลักษณะเป็นของแข็งจะต้องทำให้เป็นก๊าซโดยกระบวนการ Thermal Desorption หรือทำให้เป็นของเหลวก่อน ▪ ไม่คุ้มทุนหากขยะชุมชนมีการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย ▪ ใช้พลังงานในการผลิตความร้อนสูง ▪ ต้องใช้พนักงานควบคุม(Operators) ที่มีทักษะหรือมีประสบการณ์ในการควบคุมโรงงาน หรือต้องใช้ระบบควบคุมแบบ PLC แทน ซึ่งต้องใช้เวลาในการอบรมก่อนปฏิบัติงาน พนักงานควบคุมประมาณ 2 สัปดาห์ ▪ ไม่เหมาะสมกับขยะชุมชน/ของเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก
<u>ด้านสิ่งแวดล้อม</u> ▪ มีการติดตั้งระบบควบคุมเพื่อการป้องกันการรั่วไหลของของเสียที่บำบัด อย่างไม่สมบูรณ์จากห้องปฏิกรณ์ในกรณีที่ระบบมีปัญหาเรื่องไฟฟ้า เช่น Power Failure หรือไฟฟ้าขัดข้อง ▪ สามารถควบคุมและป้องกันการเกิดสารไดออกซินได้โดยการ ควบคุมระบบให้อยู่ภายใต้สภาวะไพโร-ไรซิส	**<u>ด้านเทคนิค</u>** ▪ การระบายมลพิษออกจากระบบบำบัดมลพิษทางอากาศมีข้อจำกัด

ที่มา: CMPS&P-environmental Australia, Appropriate Technologies for the treatment of Scheduled Wastes, Review Report number 4, November 1997: Chapter 13 Plasma system. และ http://www.oztoxics.org/research/ 300_hcbweb/library/gov_fed/appteck/plasma.html

ตารางที่ 2.43 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคโนโลยีSTARTECH Plasma-electric Waste Converter

ข้อเด่น	ข้อด้อย
<u>ด้านเทคนิค</u> ▪ สามารถรองรับได้ทั้งขยะอันตรายและไม่ อันตรายที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งในรูปของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และกากตะกอน โดยไม่จำเป็นต้องผ่านระบบบำบัดขั้นต้นก่อน และสามารถป้อนวัสดุชิ้นใหญ่เข้าสู่ระบบได้ ▪ ระบบป้อนขยะชุมชนถูกออกแบบให้เป็นระบบอัตโนมัติที่มีการป้อนขยะอย่างต่อเนื่อง และสามารถทำงานแบบ Batch ได้เช่นเดียวกัน ▪ Slag ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากระบบ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้เป็นวัสดุใน การก่อสร้างถนน ทางเท้า งานก่อสร้างอาคาร เป็นต้น ▪ ก๊าซที่ได้จากกระบวนการ สามารถใช้สำหรับกระบวนการผลิตสารเคมีได้ เช่น โพลิเมอร์ หรือใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานความร้อนหรือกระแสไฟฟ้า ▪ ออกแบบได้ทั้งแบบระบบติดตั้งกับที่ และระบบที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (Relocated Unit) ▪ สามารถลดปริมาตรขยะได้ในอัตราส่วนที่มากกว่า 300:1 สำหรับขยะชุมชน และขยะติดเชื้อต้องการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบน้อยกว่าระบบอื่นๆ	**<u>ด้านเทคนิค</u>** ▪ มีค่าลงทุนและค่าดำเนินงานระบบสูง โดยค่าลงทุนและดำเนินงานสำหรับปริมาณขยะ180 กิโลกรัม/ชั่วโมง อยู่ที่ประมาณ1.6 ล้านเหรียญสหรัฐ และ 375 เหรียญสหรัฐ/ตันขยะชุมชน ตามลำดับ ▪ การออกแบบระบบเก ต้องคำนึงถึงอันตรายที่เกิดจากการระเบิดด้วย รวมทั้งระบบเก็บพักSlag ที่เกิดจากกระบวน การด้วยเช่นกัน ▪ การออกแบบและการก่อสร้างมีความยุ่งยากในการก่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์ต้องใช้วัสดุเฉพาะที่สามารถทนความร้อนได้สูง รวมทั้งการออกแบบระบบป้องกันไฟฟ้ารั่ว ระบบป้องกันไฟไหม้ และการหลอมเหลว
<u>ด้านสิ่งแวดล้อม</u> ▪ ลดปัญหาการเกิดสารไดออกซินและฟูแรนจากกระบวนการบำบัดได้ดีกว่าระบบเตาเผา ▪ Slag ที่เกิดจากกระบวนการมีค่าการชะละลายของโลหะหนักต่ำดังนั้นระบบจึงสามารถดำเนินงานเป็นระบบปิดแบบ Closed-loop Recycling System กล่าวคือมีการนำกลับคืนวัสดุที่ได้จากกระบวนมาใช้ประโยชน์ใหม่นั่นเอง	**<u>ด้านสิ่งแวดล้อม</u>** ▪ ต้องการการออกแบบระบบเก็บก๊าซที่ได้จากกระบวนการที่เพียงพอสำหรับการป้องกันการระเบิด ▪ ต้องการการออกแบบระบบเก็บพัก Slag และโลหะหนักที่นำกลับคืนได้จากกระบวนการผลิตอย่างเพียงพอและปลอดภัย

ที่มา: CMPS&P-environmental Australia, Appropriate Technologies for the treatment of Scheduled Wastes, Review Report number 4, November 1997: Chapter 13 Plasma system. และ http://www.oztoxics.org/research/ 300_hcbweb/library/gov_fed/appteck/plasma.html

2.2.6 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel)

2.2.6.1 บทนำ

การใช้ขยะชุมชนที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะชุมชนซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพสังคมและฤดูกาล อีกทั้งขยะชุมชนมักมีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบเตา ผู้ปฏิบัติงานและควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การแปรรูปขยะชุมชนโดยผ่านกระบวนการเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีเพื่อทำให้เป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ ซึ่งเชื้อเพลิงขยะที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้

เชื้อเพลิงขยะ หมายถึง ขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ การย่อยหรือตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เชื้อเพลิงขยะที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะชุมชนมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอกว่า ข้อดีของเชื้อเพลิงขยะ คือ ค่าความร้อนสูง ง่ายต่อการขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

2.2.6.2 ชนิดของเชื้อเพลิงขยะ

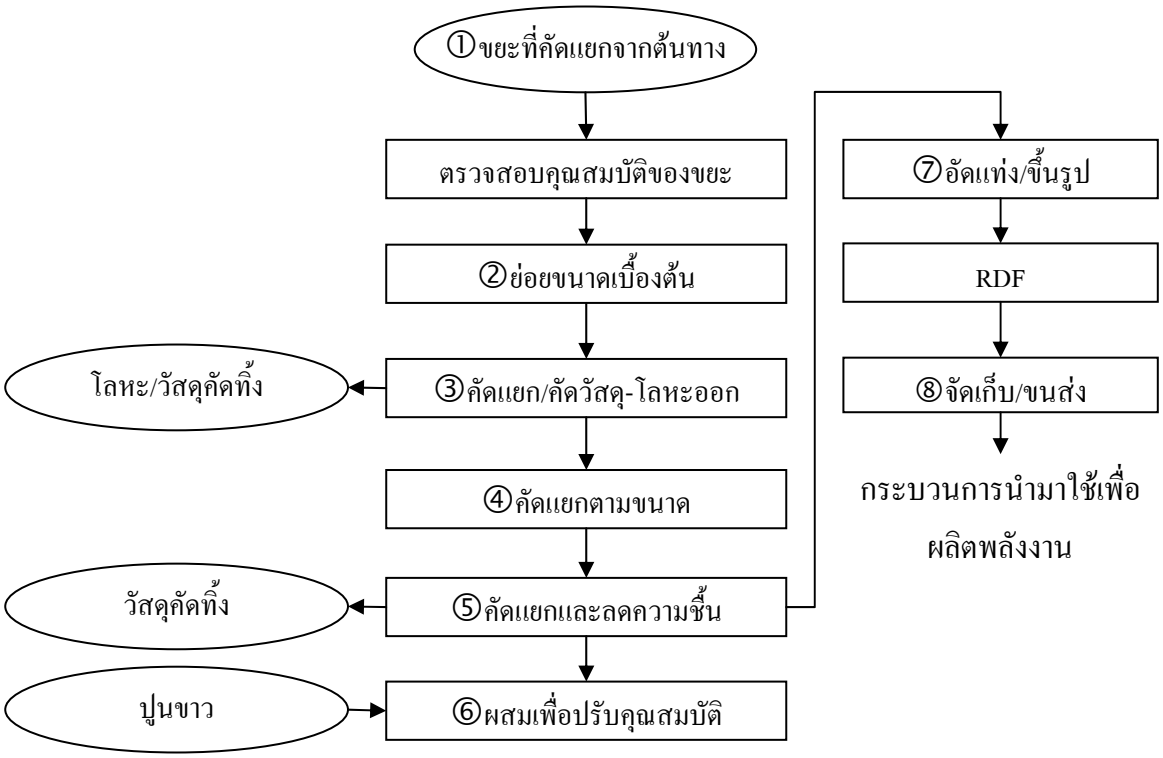
เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กระบวนการจัดการ ดังตารางที่ 2.44

ตารางที่ 2.44 สรุปคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF 1 : MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือรวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	FBC, MFC
RDF 3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้ว และอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้ว มีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	FBC, PF
RDF 5 : Desnsified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3	FBC, MFC
RDF 6: RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของSlurry	Swirl burner
RDF 7 : RDF Syngas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, IGCC.

2.2.6.3 กระบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ

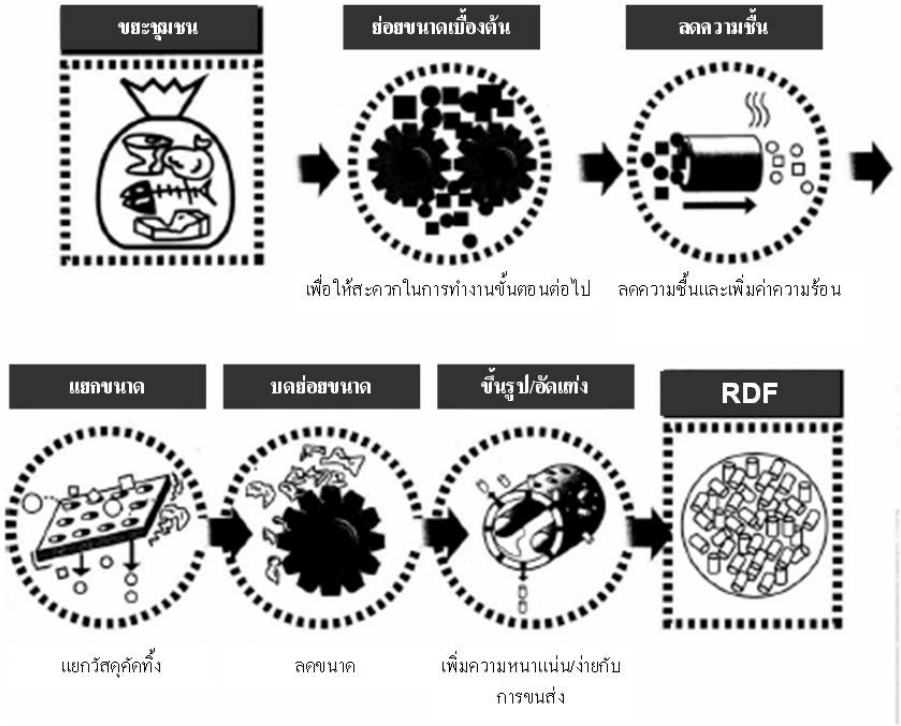
การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะซึ่งขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 2.60 และภาพที่ 2.61)



ภาพที่ 2.60 กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ

ภาพที่ 2.61 ลักษณะของเชื้อเพลิงขยะ

การออกแบบขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับว่ามีการจัดการขยะชุมชน ตัวอย่างเช่น ถ้าขยะชุมชนได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จากแหล่งกำเนิดก่อนอยู่แล้ว ในกระบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงก็อาจจะไม่จำเป็นที่จะมีขั้นตอนการคัดแยกโลหะหรือแก้วก็ได้ดังแสดงในภาพที่ 2.62



ภาพที่ 2.62 ขั้นตอนในการแปรรูปขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงขยะ

โดยทั่วไปขยะชุมชนบางส่วนสามารถคัดแยกส่วนที่นำไปกลับใช้ใหม่ได้ (เช่น โลหะ และแก้ว) และอินทรีย์สาร (เช่น เศษอาหาร) ที่ซึ่งมีความชื้นสูงเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ เช่น นำไปใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) จากนั้นขยะที่เหลือ เช่น กระดาษ เศษไม้พลาสติก จะถูกนำไปลดขนาดซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ได้โดยตรงในรูปของ Coarse RDF (c-RDF) หรือนำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงและการอัดแท่งเพื่อผลิตเป็น Densified RDF (d-RDF) การเลือกพิจารณาว่าจะใช้เชื้อเพลิงขยะในแบบใดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของระบบการเผาไหม้ ที่ตั้งระหว่างที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะและสถานที่ที่ใช้งาน

2.2.6.4 การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ

1) รูปแบบการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ

การใช้เชื้อเพลิงขยะเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนโดยที่อาจจะมีการใช้เชื้อเพลิงขยะเป็นเชื้อเพลิงภายในสถานที่เดียวกันหรือเพื่อขนส่งในกรณีที่ตั้งของโรงงานไม่ได้อยู่ในสถานที่เดียวกัน ทางเลือกอีกทางหนึ่งก็คือนำไปใช้เผาร่วมกับเชื้อเพลิงประเภทอื่น เช่น ถ่านหิน เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ ได้มีการนำเชื้อเพลิงขยะไปใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

วิธีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในรูปของพลังงาน มีดังต่อไปนี้

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

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

(3) เผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ถ่านหิน หรือชีวมวล

(4) เผาไหม้ในเตาผลิตปูนซีเมนต์

(5) ใช้ร่วมกับถ่านหินหรือชีวมวลในกระบวนการ Gasification

2) การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะชนิดต่างๆ

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ได้แก่ เชื้อเพลิงขยะแบบผง (Dust-RDF) และ เชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง (Densified-RDF)

(1) เชื้อเพลิงขยะแบบผง (Dust-RDF)

การใช้เชื้อเพลิงขยะแบบผงส่วนใหญ่จะในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงผง (Pulvenised Fuel) การที่มีความหนาแน่นต่ำทำให้การขนส่งเป็นไปได้ลำบาก และต้องใช้ปริมาณมากร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น นอกจากนั้นยังมีการใช้งานเชื้อเพลิงขยะแบบผง (Dust-RDF) เป็นเชื้อเพลิงเสริมในการเผาทำลายกากตะกอนของเสีย ซึ่งโดยทั่วไปกากตะกอนของเสียจะไม่สามารถเผาไหม้ได้ด้วยความร้อนจากตัวมันเอง การใช้เชื้อเพลิงขยะแบบผง (Dust-RDF) เสริมเข้าไปทำให้สามารถเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

(2) เชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง (Densified-RDF)

การใช้ประโยชน์เชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง (Densified-RDF) (ภาพที่ 2.63) สามารถใช้ได้กว้างขวางกว่าเชื้อเพลิงขยะแบบผง เช่น สามารถใช้กับหม้อไอน้ำขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่สามารถใช้กับเตาเผาที่มีการใช้อยู่แล้ว

ภาพที่ 2.63 ลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง

<u>คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง</u>

- ค่าความร้อน: โดยทั่วไป ถ่านหินจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 1,400 kg/m^3 และมีค่าความร้อนประมาณ 26,000 kJ/kg ดังนั้นในปริมาตร 1 m^3 ถ่านหินจะให้ความร้อน 36,400 MJ ในขณะที่ เชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง (Densified-RDF) จะมีความหนาแน่นประมาณ 600 kg/ m^3 และค่าความร้อนประมาณ 20,000 kJ/kg ทำให้ในปริมาตร 1 m^3 ของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งให้ความร้อนประมาณ 12,000 MJ แม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินแล้ว เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งจะให้ความร้อนออกมาในปริมาณที่ต่ำกว่า แต่เมื่อเทียบกับขยะชุมชนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งจะมีค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนที่สูงกว่ามาก
- ปริมาณเถ้า: ปริมาณเถ้าต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีค่าประมาณใกล้เคียงกับถ่านหิน ดังนั้นแต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่ใช้เท่ากันแล้วเถ้าจากเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งจะมากกว่า ดังนั้นการออกแบบระบบอุปกรณ์กำจัดเถ้าจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมด้วย
- ปริมาณความชื้น: ปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงเป็นข้อจำกัดตัวหนึ่งในระบบการเผาไหม้ เมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้ ความร้อนที่ได้ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการทำให้น้ำใน

เชื้อเพลิงกลายเป็นไอทำให้ปริมาณความร้อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ลดลง ถ้าปริมาณความชื้นยิ่งสูง ความร้อนที่ได้ออกมาก็จะลดลง

▪ ปริมาณคลอไรด์และซัลเฟอร์: สิ่งสำคัญอีกสิ่งก็ คือ ปริมาณคลอไรด์ในกระบวนการเผาไหม้คลอไรด์จะทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนไปเป็นกรดไฮโดรคลอริกเช่นเดียวกับซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปเป็นกรดซัลฟูริค อย่างไรก็ตาม ปริมาณการเกิดก๊าซกรดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการเผาไหม้ถ่านหินแล้ว การใช้เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งจะมีน้อยกว่า

<u>ระบบการเผาไหม้</u>

ลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แท่งทรงกระบอก สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เป็นต้น ดังนั้น ระบบการเผาไหม้จึงจำเป็นต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งแต่ละชนิด ซึ่งที่นิยมใช้ส่วนมาก คือ แท่งทรงกระบอก (Pellet) สำหรับเตาเผาที่ใช้เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีหลายแบบได้แก่

1) เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker firing)

1.2) เตาเผาแบบUnder Stroke หรือ Retrot Stroke: มีข้อพิจารณาการใช้เตาเผาชนิดนี้กับเชื้อเพลิงขยะแบบแท่ง ดังต่อไปนี้ *ประการแรก* ดังที่กล่าวมาแล้วว่าเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านหิน ในขณะที่ Retort Stoker โดยทั่วไปจะถูกออกแบบโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งแทนถ่านหินจะทำให้เตาเผามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อขนาดของ Boiler เท่ากัน *ประการที่สอง* เตาเผาแบบ Retort ไม่มีระบบกำจัดเถ้าในตัวมันเอง แม้ว่าจะได้มีการปรับปรุงเพื่อให้มีระบบกำจัดเถ้าแต่เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีองค์ประกอบของเถ้ามากกว่าถ่านหิน ดังนั้น การกำจัดเถ้าจึงจำเป็นต้องทำบ่อยขึ้นและในการกำจัดเถ้าแต่ละครั้งต้องทำการปิด Boiler เนื่องจากเถ้าของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีลักษณะเป็นฝุ่นขนาดเล็กและจะไปทำให้เกิดการอุดตันภายใน Boiler ได้ *ประการที่สาม* เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีองค์ประกอบที่เป็นสารระเหยมากกว่าถ่านหิน ดังนั้นจึงต้องป้อนอากาศเหนือตระกรับมากกว่าป้อนใต้ตระกรับ ทำให้ Secondary Air มีความสำคัญมากกว่า Primary Air ซึ่งในการออกแบบ Retort Stoker ส่วนใหญ่นั้นจะเน้นที่ Primary Air เป็นหลัก จากการที่ เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีองค์ประกอบของสารระเหยมากกว่าถ่านหินนั้นทำให้โอกาสที่จะเกิดการเผาไหม้ภายในช่องป้อนนั้นมีมากกว่า เนื่องจากเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งสามารถปล่อยสารระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหิน

2.2) เตาเผาแบบตะกรับเคลื่อนที่ด้วยโซ่หรือสายพาน (Chain Grate or Traveling Grate Stokers) ปัญหาที่อาจพบได้จากการใช้เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งกับเตาเผาชนิดนี้ได้แก่ การหลอมตัวของเถ้า ปริมาณเถ้าในก๊าซร้อน และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การหลอมตัวของเถ้าเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิหลอมละลายของเถ้าเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งนั้นต่ำกว่าเมื่อ

เปรียบเทียบกับถ่านหิน และในการเผาไหม้เชื้อเพลิงขยะแบบแท่งจำเป็นต้องใช้ Secondary Air มากกว่า Primary Air ในทางกลับกันการเผาไหม้ถ่านหิน Primary Air จะมากกว่า Secondary Air ส่วน Primary Air จะไหลผ่านช่องว่างระหว่างถ่านหิน ทำให้มีอุณหภูมิไม่สูงมากเกินไป ในขณะที่เผาเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งใช้ปริมาณ Primary Air ที่น้อยลงทำให้อุณหภูมิสูงเกินนำไปสู่การหลอมตัวของเถ้าได้ ซึ่งปริมาณเถ้าในก๊าซร้อนนั้นจะสัมพันธ์กับการเกิดการหลอมตัวของเถ้า การที่จะควบคุมปริมาณเถ้าในก๊าซร้อนนั้นก็คือการป้องกันไม่ให้เกิดการหลอมตัวของเถ้า สำหรับการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของตะกรับ ถ้าเชื้อเพลิงขยะแบบแท่งมีความหนาแน่นมาก อาจจะทำให้การเผาไหม้ไม่หมดเมื่อมาถึงปลายทางของตะกรับ

2) การเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) ในปัจจุบันมีการใช้เตาเผาฟลูอิไดซ์เบดทั้งในขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้าขนาด 360 เมกะวัตต์ ไปจนถึงขนาดเล็กที่ใช้กับหม้อไอน้ำ หรือเตาเผากำจัดของเสีย เช่น ตะกอนจากน้ำทิ้ง ของเสียในโรงกลั่นในรูปของเหลวข้น ที่เป็นประโยชน์มากที่สุดคือการใช้เตาเผาฟลูอิไดซ์เบดที่ใช้ขยะหรือเศษไม้ขนาดเล็กเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีการพัฒนาและการใช้งานในหลายประเทศ เนื่องจากมีการพัฒนาเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดมาตามลำดับโดยเฉพาะเตาเผารุ่นใหม่ ซึ่งให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีพลังงานสูง และเตาเผามีขนาดเล็กว่าจึงน่าจะเป็นแนวโน้มที่จะมีการใช้เตาเผาฟลูอิไดซ์เบดอย่างกว้างขวางขึ้นมากในอนาคต โดยที่เตาฟลูอิไดซ์เบดนั้นได้รับการพัฒนาเพื่อใช้กับเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ในการที่จะรักษาอุณหภูมิภายในเบดให้คงที่ตามที่ต้องการ จำเป็นที่จะต้องมีปริมาณคาร์บอนมากพอที่จะเกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผา และปล่อยความร้อนออกมา ในขณะที่สารระเหยที่ถูกขับออกมาจะเกิดการเผาไหม้บริเวณเหนือห้องเผา ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิงมีปริมาณสารระเหยสูงอาจจะไม่สามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องเผาได้

2.2.6.5 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะชุมชนขึ้นอยู่กับการจัดเก็บขยะชุมชน กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป และคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ ดังในรายงานของ European Commission Directorate General Environment ที่ระบุว่าการผลิตเชื้อเพลิงขยะจะได้ผลผลิตประมาณ 23 ถึง 50% โดยน้ำหนักของขยะชุมชนที่นำมาแปรรูป (ตารางที่ 2.45)

ตารางที่ 2.45 อัตราการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ

ประเทศ	วิธีการแปรรูป	อัตราการแปรรูป(%)
ออสเตรีย	MBT	23
เบลเยี่ยม	MBT	40-50
ฟินแลนด์	MT	ไม่แน่นอน
เนเธอร์แลนด์	MT	35
สหราชอาณาจักร	MT	22-50

MBT = Mechanical Biological Treatment

MT = Mechanical Treatment

ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะในกลุ่มประเทศยุโรป คาดประมาณว่าจะมีปริมาณ 3 ล้านตันต่อปี ประเทศที่ได้มีการศึกษาและพัฒนาการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะมาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ออสเตรีย ฟินแลนด์ เยอรมนี อิตาลี เนเธอร์แลนด์ และสวีเดน โดยที่ เบลเยี่ยม และสหราชอาณาจักร กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา ดังแสดงในตารางที่ 2.46

ประเทศที่มีการศึกษาและพัฒนาการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะเป็นอย่างมากอีกประเทศหนึ่ง ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น มีโรงงานแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะมีกำลังการผลิตตั้งแต่ 2.5 ตัน/วัน ไปจนถึง 390 ตัน/วัน ขึ้นอยู่กับการวางแผนการจัดการขยะในแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไปแล้วมีกำลังการผลิตไม่เกิน 50 ตัน/วัน องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะชุมชนที่นำมาแปรรูป วิธีการจัดเก็บ และกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป คุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูปแล้ว ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณซัลเฟอร์และคลอไรด์ ตัวอย่างคุณลักษณะของขยะชุมชนและเชื้อเพลิงขยะที่ได้จากการแปรรูปขยะแสดงในตารางที่ 2.47 จะเห็นได้ว่าความชื้นในเชื้อเพลิงขยะลดลงอย่างมาก (~50%) เมื่อเปรียบเทียบกับขยะชุมชนก่อนที่จะนำมาแปรรูป ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.46 ประเทศที่ได้มีการศึกษาและพัฒนาการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะมาอย่างต่อเนื่อง

ประเทศ	ประเภทและจำนวนโรงงาน[a]	วัตถุดิบที่ป้อนเขาสู่โรงงาน[a]		ผลผลิตพลังงาน[a]
		ขีดความสามารถ (x 10^3 tpa)	ปริมาณที่ผลิตได้ (x 103 tpa)	ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ (x 10^3 tpa)
ออสเตรเลีย	10MBT (+2)	340 (+60)	340[d]	70
เบลเยี่ยม[a]	1 + (4MBT)	n/a + (600)	-	n/a + (240-300)
เดนมาร์ก	-[c]	-	-	-
ฟินแลนด์	12 + (B)	200-300	140-300[f]	40-90[b]
ฝรั่งเศส	-[c]	-	-	-
เยอรมัน	14 MBT	1,100	n/a	330[b]
กรีซ	-	-	-	-
ไอน์แลนด์	-	-	-	-
อิตาลี	16 MBT + 6 + (3)	2,000 (+1,300)	1,000 + n/a	300[b]
ลักซ์เซมเบิร์ก	-	-	-	-
เนเธอร์แลนด์	13 (+12)	2,000 (+1,300)	2,000	700
โปรตุเกส	-	-	-	-
สเปน	n/a	n/a	n/a	n/a
สวีเดน[c]	n/a	n/a	n/a	1,350[g]
อังกฤษ	3	250	250	90
รวม สหภาพยุโรป	**> 50**	**>5,500**	**>3,700**	**3,000**

หมายเหตุ: a จำนวนโรงงานที่วางแผนว่าจะก่อสร้างและอยู่ระหว่างก่อสร้างอยู่ในวงเล็บ

b สมมุติให้มีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ ร้อยละ 30

c การผลิต เชื้อเพลิงขยะไม่ต่อเนื่อง เพราะสาเหตุทางเศรษฐกิจ

d รวมขยะชุมชน กากตะกอนจากระบบบำบัด เศษไม้ และขยะจากกิจกรรมทางพาณิชย์

e ตัวเลขที่รายงานเป็นตัวเลขของเขต Flemish-ไม่มีรายงานการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะชุมชน

f รวมขยะชุมชน ขยะจากกิจกรรมทางพาณิชย์ และเศษวัสดุก่อสร้าง

d ไม่ชัดว่าใช้วิธีใดในการผลิต

MBT Mechanical-biological treatment plant

ตารางที่ 2.47 องค์ประกอบของขยะชุมชนและเชื้อเพลิงขยะ

Proximate analysis			**Elemental Analysis**		
Parameter	**MSW (wt%)**	**RDF (wt%)**	Parameter	**MSW (wt%)**	**RDF (wt%)**
Miosture	55.91	29.29	Carbon	51.33	50.87
Volatile	35.28	54.27	Hydrogen	6.77	6.68
Fixed Carbon	4.27	10.98	Oxygen	30.92	26.66
Ash	4.52	5.46	Nitrogen	1.42	1.56
Calorific Value					
LHV (KJ/Kg)	9,736.17	14,805.25	LHV (KJ/Kg)	21,894.33	21,306.77

Dry Basis: Modify from K.Silvapalan,2003

2.3 ศึกษาทบทวนเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศ

2.3.1 โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง

2.3.1.1 บทนำ

เทศบาลนครระยองประสบปัญหาในการก่อสร้างสถานที่กำจัดขยะชุมชนแห่งใหม่ แม้ว่าจะได้จัดหาที่ดินไว้แล้ว แต่ชุมชนที่อาศัยอยู่โดยรอบที่ดินดังกล่าวไม่ยินยอมให้เข้าไปดำเนินการก่อสร้าง ขณะเดียวกันสถานที่ฝังกลบที่ใช้อยู่จะรองรับปริมาณขยะชุมชนได้อีกไม่นานนัก เพื่อเป็นการคลี่คลายปัญหาดังกล่าว เทศบาลนครระยองได้ร่วมกับมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานพัฒนากระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการลดและคัดแยกขยะชุมชน และให้ประชาชนได้เข้าใจถึงความจำเป็นที่เทศบาลนครระยองจะต้องก่อสร้างสถานที่กำจัดขยะชุมชนแห่งใหม่ การพัฒนากระบวนการมีส่วนร่วมในการลดและคัดแยกขยะชุมชนประกอบด้วยการสร้างอาสาสมัครพิทักษ์สิ่งแวดล้อม กิจกรรมส่งเสริมการคัดแยกขยะรีไซเคิลในโรงเรียนและชุมชน จนประสบความสำเร็จและเป็นตัวอย่างในด้านการจัดการขยะชุมชนให้กับท้องถิ่นอื่นๆ

ต่อมา เทศบาลนครระยองและมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานจึงได้เริ่มโครงการคัดแยกขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดและจัดระบบการจัดเก็บกระทั่งได้รับผลเป็นที่น่าพอใจ โดยคุณภาพของขยะอินทรีย์ที่คัดแยกและจัดเก็บได้เพียงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน ในปี 2544 กระทรวงพลังงานจึงได้สนับสนุนงบประมาณให้ก่อสร้างโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)

2.3.1.2 รายละเอียดของระบบ

โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานจากขยะชุมชนของเทศบาลนครระยอง (ภาพที่ 2.64) ตั้งอยู่ในพื้นที่ของเทศบาลนครระยอง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง โดยเริ่มก่อสร้างในปี 2545 ภายใต้การสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน งานก่อสร้างแล้วเสร็จและเริ่มรับขยะอินทรีย์ที่ผ่านการคัดแยกจากต้นทางตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี 2547 จนถึงปัจจุบัน

โครงการนี้ได้ริเริ่มการผสมผสานการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดเข้ากับกระบวนการทางเทคนิคที่ใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้อ๊อกซิเจน โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

ภาพที่ 2.64 โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง

1) การคัดแยกขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด

การคัดแยกที่แหล่งกำเนิดเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการขยะชุมชนโดยเฉพาะเมื่อต้องการผลิตกระแสไฟฟ้า ขยะอินทรีย์ที่จัดเก็บและป้อนเข้าสู่โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานเกิดจากกระบวนการคัดแยกขยะชุมชนที่แหล่งกำเนิดด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชน สถานประกอบการ ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้า สถานที่ราชการ และตลาดสด โดยการพัฒนากระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะชุมชนนั้น เทศบาลนครระยองได้มอบให้มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานดำเนินการต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 2543 เริ่มจากการสร้างกระบวนการเรียนรู้ประโยชน์ที่ได้จากการคัดแยกขยะรีไซเคิล เช่น กิจกรรมธนาคารขยะ ตลาดนัดรีไซเคิล ต่อมาจึงสร้างความเข้าใจถึงความจำเป็นที่จะต้องแยกขยะอินทรีย์เพื่อลดปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบ ในที่สุดประชาชนในพื้นที่เทศบาลนครระยองสามารถคัดแยกขยะอินทรีย์ได้และเทศบาลนครระยองก็ได้ปรับระบบการเก็บขนให้สอดคล้องกับการคัดแยกของประชาชน (ภาพที่ 2.65)

2) องค์ประกอบของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

ขยะอินทรีย์ที่คัดแยกและเก็บรวบรวมจากบ้านเรือนและสถานประกอบการยังคงมีขยะประเภทอื่นๆปะปนมาแม้จะไม่มากนัก แต่ก็จำเป็นที่จะต้องแยกออกเพื่อความปลอดภัยของการทำงานของเครื่องจักร จากนั้น เมื่อผ่านการคัดแยกแล้ว ขยะอินทรีย์จะถูกปรับสภาพให้เหมาะสมกับขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนกระบวนการต่างๆ ของโรงงานแสดงในภาพที่ 2.66 รายละเอียดและแนวคิดในการออกแบบโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานจากขยะ แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.65 กิจกรรมการมีส่วนร่วมต่างๆ ที่จัดทำขึ้นในเขตเทศบาลนครระยอง

2.1) ระบบรับและคัดแยกขยะส่วนหน้า (Front End Treatment, FET)

ระบบรับและคัดแยกขยะส่วนหน้าได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับปริมาณขยะที่ส่งเข้าสู่ระบบประมาณ 70 ตันขยะอินทรีย์ต่อวัน โดยระบบนี้จะทำการคัดแยกประเภทขยะด้วยเครื่องจักรกลเป็นหลักและเสริมด้วยแรงงานคนเฉพาะในส่วนของการคัดแยกวัสดุรีไซเคิลโดยมีระบบรวบรวมกลิ่นไปบำบัดด้วยโอโซนก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ พื้นที่รับขยะแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(1) ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste; MSW) ออกแบบให้รองรับขยะชุมชนปริมาณ 50 ตันต่อวัน ขยะชุมชนจะถูกเทลงกองบนพื้นรับขยะ (Receiving Floor) เพื่อให้คนงานทำการเปิดถุงและคัดแยกขยะอันตราย ขยะขนาดใหญ่หรือที่อาจทำความเสียหายต่อระบบ จากนั้นใช้รถตักขยะป้อนเข้าระบบคัดแยก เริ่มตั้งแต่สายพานลำเลียง เข้าเครื่องเปิดถุง (Bag Opener) และส่งเข้าตะแกรงแยกขนาด (Drum Screen) ที่มีขนาดช่องว่าง 60 มิลลิเมตร ขยะที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงจะหล่นลงมายังสายพานด้านล่าง ซึ่งส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 90 เป็นขยะอินทรีย์ และถูกส่งต่อไปคัดแยกวัสดุประเภทเหล็กด้วยเครื่องแยกเหล็ก (Magnetic Separator) และส่งต่อไปยังเครื่องบดย่อยขยะอินทรีย์ สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงจะถูกคัดแยกวัสดุรีไซเคิลด้วยแรงงานคน (Hand Sorting Conveyor) ขยะที่เหลือปลายสายพานคัดแยกจะเป็นวัสดุเฉื่อย (Inert

Material) เช่น เศษไม้ ถุงพลาสติก วัสดุก่อสร้าง กระจก และกระเบื้องจะถูกรวบรวม เพื่อนำไปฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลต่อไป

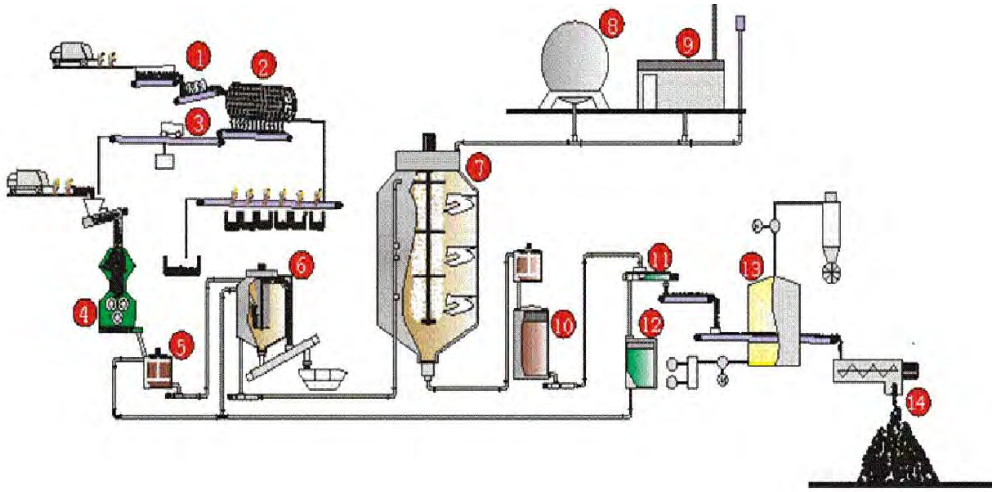
2) ขยะอินทรีย์ที่คัดแยกจากแหล่งกำเนิด (Source Separated Organic Waste) ออกแบบให้รองรับได้ปริมาณ 20 ตันต่อวัน โดยเทลงในถาดรับขยะอินทรีย์ เพื่อให้คนงานคัดแยกวัสดุที่ไม่เหมาะสมออกก่อนลำเลียงไปยังเครื่องบดย่อยขยะอินทรีย์

2.2) ระบบบดย่อยขยะอินทรีย์ (Pulping of Organic Waste)

ขยะอินทรีย์ที่ผ่านการคัดแยกจากระบบรับและคัดแยกขยะส่วนหน้าทั้งหมด จำนวน 60 ตันต่อวัน จะถูกลำเลียงด้วยสายพานเข้าเครื่องบดย่อย โดยผสมน้ำในระหว่างการย่อยขยะ (Pulping) ซึ่งทำให้ขยะอินทรีย์มีขนาดเล็กลงและเป็นเนื้อเดียวกันคล้ายตะกอนเหลว (Slurry) ก่อนสูบไปเก็บไว้ในถังพัก (Suspension Tank) เพื่อตกตะกอนของหนักและแยกสิ่งที่ปะปนมากับสารอินทรีย์ จากนั้นจะสูบตะกอนเหลวไปยังถังเตรียมสารอินทรีย์ (Feed Preparation Tank) ของระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศเพื่อปรับความเข้มข้นของแข็งให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 15 และปรับค่าพีเอชให้มีค่าเหมาะสม ก่อนสูบเข้าสู่ถังหมัก (Bioreactor) ครั้งละ 30 ลบ.เมตร รวม 4 ครั้งต่อวัน

2.3) ระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)

การหมักแบบไม่ใช้อากาศใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 2,100 ลบ.ม. จำนวน 1 ถัง โดยไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ กำหนดอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.0 กก.ของแข็งระเหยต่อปริมาตรลูกบาศก์เมตร ระยะเวลาเก็บกักประมาณ 18-20 วัน ภายในถังหมักติดตั้งเครื่องกวนผสมแบบใบพัด เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างทั่วถึง และควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.4-7.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 100 ลบ.ม.ต่อตันขยะอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะไหลเข้าสู่บอลลูนเก็บก๊าซ โดยใช้ความแตกต่างของความดันภายในถังหมักกับบอลลูน นอกจากนี้บนถังปฏิกรณ์ติดตั้งวาล์วปรับแรงดันอัตโนมัติทำหน้าที่ระบายก๊าซออกจากถังสู่บรรยากาศ ในกรณีที่ความดันในถังสูงกว่าความสามารถที่รับได้ของถังปฏิกรณ์ ได้ผลผลิตในรูปของก๊าซชีวภาพ ซึ่งนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า และได้ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดรายได้กับโครงการ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



<u>ระบบรับและคัดแยกขยะ</u>

1. เครื่องเปิดถุง (Bag opener)
2. ตระแกรงคัดแยก (Drum screen)
3. เครื่องแยกเหล็ก (Magnetic separator)

<u>ระบบบดย่อยขยะอินทรีย์</u>

4. เครื่องบดย่อย (Pulper)
5. ถังพัก (Suspension tank)
6. ถังเตรียมสารอินทรีย์ (Feed preparation tank)

<u>ระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศ</u>

7. ถังหมัก (Bioreactor)

<u>ก๊าซชีวภาพ</u>

8. บอลลูนเก็บก๊าซชีวภาพ (Biogas holder)
9. เครื่องปั่นไฟฟ้า (Gas-engine generator)

<u>กากตะกอนเหลวที่ย่อยสลายแล้ว</u>

10. ถังพักกาก (Buffer storage tank)
11. เครื่องแยกน้ำ (Mechanical dryer)
12. ถังพักน้ำเติมระบบ (Process water tank)
13. เครื่องอบลมร้อน (Thermal dryer)
14. ปุ๋ยอินทรีย์ (Fertilizer)

ภาพที่ 2.66 แผนภูมิแสดงกระบวนการต่าง ๆ ของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน

(1) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพเป็นลักษณะของการใช้ความร้อนร่วม (Cogeneration System) คือ การใช้พลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพมากกว่า 1 รูปแบบ ได้แก่ การใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 38.7 หรือมีกำลังผลิตเท่ากับ 625 KW/ชั่วโมง ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ คิดเป็นร้อยละ 28.0 ของพลังงานนำไปใช้ในการอบและฆ่าเชื้อโรคกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และความร้อนจากน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ก๊าซคิดเป็นร้อยละ 22.7 จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อทำน้ำอุ่นสำหรับใช้กับเครื่องบดย่อยขยะอินทรีย์ รวมประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพได้มากกว่าร้อยละ 89.0

(2) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

กากตะกอนของสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายจะถูกสูบมาเก็บไว้ที่ถังพักกากตะกอน และส่งไปผสมกับโพลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสม ก่อนทำการรีดน้ำด้วยเครื่องรีดสลัดจ์แบบสายพาน (Belt Press) ได้กากตะกอนที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ50 และถูกส่งไปเข้าเครื่องอบลดความชื้นและฆ่าเชื้อโรคแบบหมุน (Pasteurized rotary drum) โดยใช้ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิประมาณ 120-140 °C ซึ่งสูงเพียงพอสำหรับทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ทั้งหมด จากการตรวจสอบคุณภาพพบว่ามีธาตุอาหารที่เหมาะสมสามารถนำใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

2.4) ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment System)

น้ำจากเครื่องรีดกากตะกอนแบบสายพานจะถูกหมุนเวียนกลับมาผสมกับขยะอินทรีย์ในเครื่องบดย่อยขยะเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการหมักดีขึ้นและมีเสถียรภาพ น้ำเสียส่วนเกินที่เหลือจะถูกส่งเข้าบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งประกอบด้วยการบำบัดเบื้องต้นในถังตกตะกอน และน้ำส่วนใสจะถูกบำบัดต่อด้วยโอโซน ก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก

2.5) ระบบบำบัดกลิ่น

การควบคุมกลิ่นที่เกิดขึ้นจากอาคารรับและคัดแยกขยะ เครื่องจักรและถังต่างๆ ในระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยการทำให้มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Negative Pressure) โดยมีพัดลมดูดอากาศจากถังและอุปกรณ์เหล่านี้และถูกส่งไปบำบัดโดยใช้โอโซนก่อนปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2.3.1.3 ผลการดำเนินงาน

ภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานยังคงรับผิดชอบในการทดลองเดินระบบและจัดเก็บข้อมูลเชิงวิชาการอย่างต่อเนื่องอีกประมาณ 2 ปี (ปี 2547-2549) จนเกิดความมั่นใจว่าเทคโนโลยีการหมักแบบไม่ใช้อากาศมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งผลจากการทดลองเดินระบบ พบว่าโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานสามารถลดปริมาณขยะที่นำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบได้มากกว่าร้อยละ 20 (การจัดเก็บขยะอินทรีย์ครอบคลุมพื้นที่ของเทศบาลประมาณ 60%) และเกิดผลพลอยได้จากการหมักในรูปของกากตะกอน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในการปรับคุณภาพดินหรือเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดี และก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าขายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี 2547 อย่างไรก็ตามการเดินระบบต้องดำเนินการควบคู่กับกระบวนการคัดแยกขยะอินทรีย์ที่แหล่งกำเนิด โดยในปัจจุบันมี

ประชาชนให้ความร่วมมือคัดแยกขยะอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 45 ของจำนวนครัวเรือนทั้งหมดในเขตเทศบาลฯ เนื่องจากการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดยังไม่ครอบคลุมทั้งเขตเทศบาล ทำให้สามารถรวบรวมขยะอินทรีย์ได้ประมาณ 15-20 ตันต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 20-30 ของความสามารถสูงสุดของระบบ หลังจากการดำเนินงานโครงการรีไซเคิลและการคัดแยกขยะอินทรีย์ที่แหล่งกำเนิดตั้งแต่ปี 2544 พบว่าปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบของเทศบาลนครระยองในแต่ละวันมีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.67

ภาพที่ 2.67 ปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบและปริมาณขยะที่ผลิตขึ้นต่อวันปี 2544 - 2548

ตารางที่ 2.48 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการดำเนินงานที่ผ่านมาเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบ และพบว่ามีค่าที่แตกต่างกันสาเหตุเนื่องจากปริมาณขยะอินทรีย์ที่เก็บรวบรวมเข้าสู่โรงงานน้อยกว่าปริมาณที่ใช้ในการออกแบบ นอกจากนั้น ลักษณะการเก็บเศษอาหารจากบ้านเรือนมีน้ำปนอยู่จำนวนมากทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งต่ำกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ โดยมีอัตราส่วนปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งในของเหลวทั้งหมดต่ำเพียงร้อยละ 5 ส่งผลให้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เข้าระบบเท่ากับ 1.3 กิโลกรัมของแข็งระเหย/ลบ.ม.-วันขณะที่ค่าที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 6.0 กิโลกรัมของแข็งระเหย/ลบ.ม.-วัน ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นต่อปริมาตรถังหมัก และต่อตันขยะอินทรีย์มีค่าต่ำกว่าค่ากำหนดที่ออกแบบไว้

นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการบดย่อยเพื่อเตรียมขยะทำได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขยะอินทรีย์ที่ได้จากการคัดแยกที่ต้นทางมีคุณลักษณะทางกายภาพที่หลากหลาย มีส่วนประกอบที่เป็นวัสดุเฉื่อย (สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เปลือกหอย กระดองปู กระดูกสัตว์ เป็นต้น) ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ภายในถังหมัก นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่เป็นพวกเส้นใยซึ่งการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้าเช่นกัน โดยทั่วไปจะต้องคัดเอา

สารอินทรีย์ในกลุ่มนี้ออก เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมในถัง แต่กระบวนการคัดแยกวัสดุเฉื่อยออกยังทำได้ไม่สมบูรณ์ทำให้มีวัสดุเฉื่อยเข้าไปในกระบวนการบดย่อย ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้ในปัจจุบันไม่สามารถบดย่อยให้มีขนาดเล็กตามที่กำหนดไว้ได้ จึงมีวัสดุเฉื่อยบางส่วนที่มีขนาดใหญ่ เกิดการตกค้างในเครื่องและอุดตันตามระบบเส้นท่ออยู่บ่อยครั้ง ทำให้ต้องถอดล้างอุปกรณ์ส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารอินทรีย์บางส่วนไปในขั้นตอนการถอดล้างอุปกรณ์ นอกจากนี้วัสดุเฉื่อยที่สามารถบดให้มีขนาดเล็กพอที่จะผ่านเครื่องบดย่อยและเส้นท่อเข้าไปในถังได้ จะเกิดการสะสมในถัง ทำให้ปริมาตรใช้งานในถังลดลง และเกิดการแยกชั้นของตะกอนขั้นในถัง ซึ่งส่งผลให้การกวนผสมในถังไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 2.48 ค่าเฉลี่ยของผลการดำเนินงานที่ผ่านมาเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบ

กระบวนการ	หน่วย	ค่าที่ใช้ในการออกแบบ	ผลที่ได้จากการเดินระบบ
ประเภทของขยะที่รับบำบัด			
- ขยะอินทรีย์จากการคัดแยกที่แหล่งกำเนิด	ตันต่อวัน	20	12
- ขยะชุมชน	ตันต่อวัน	50	3.3
คุณสมบัติขยะอินทรีย์			
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)	%	30	18
- ปริมาณของแข็งระเหย (VS)	%	70	86
การเตรียมขยะอินทรีย์			
- เครื่องฉีกถุง (Bag opener)	ตันต่อชม.	7	-
- เครื่องคัดขนาดขยะ(Drum screening)	ตันต่อชม.	7	6
- เครื่องแยกโลหะ (Magnetic separator)	ตันต่อชม.	3.5	3.5
- เครื่องย่อยลดขนาดขยะ(Shredded)	ตันต่อชม.	8.5	-
- เครื่องบดขยะผสมกับน้ำ (Fragmentizer)	ตันต่อชม.	7.5	3
ขนาดขยะที่ผ่านการบด (Low Riddle)	มม.	$\leq$10	$\pm$10
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)	%	15	5
ปริมาณของแข็งระเหย (VS)	%	70	85
- ปริมาตรตะกอนเหลวเข้าสู่ถังหมัก	ลบ.ม./วัน	120	45
- วัสดุคัดทิ้ง	ตัน/วัน	10	3
การหมัก			
- ปริมาตรถังหมัก	ลบ.ม.	2,100	2,100
- อุณหภูมิ	$^{\circ}$C	30-36	25-31
- อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	กก.VS/ลบ.ม.	6.00	1.3
- เวลากักพักตะกอน	วัน	18-20	33
- พีเอช (pH)	-	6.7-7.4	7.0-7.4
- การย่อยสลายของแข็งระเหย (VS Reduction)	%	50	30 (25-35)
- อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ;	ลบ.ม./ลบ.ม.ถัง-วัน	2.85	0.30 (0.2-0.4)
- Biogas Yield	ลบ.ม./ตันขยะอินทรีย์	100	76 (40-80)
การบำบัดหลังการหมัก			
- เครื่องแยกน้ำ (Belt press)	ลบ.ม./ชม.	16	-
- เครื่องอบฆ่าเชื้อโรค	ตัน/ชม.	7.5	-
การใช้ประโยชน์			
- การผลิตกระแสไฟฟ้า	kWh/ตันขยะอินทรีย์	230	181(100-220)
- อัตราการผลิตปุ๋ย (Compost Yield)	ตัน ปุ๋ย/ตัน ขยะอินทรีย์	0.26	0.2 (0.1-0.3)

หมายเหตุ : 1 ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย โดยตัวเลขในวงเล็บหมายถึงช่วงของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้

2 ตัน ขยะอินทรีย์ หมายถึง น้ำหนักขยะอินทรีย์ที่แยกจากแหล่งกำเนิดโดยที่คัดแยกวัสดุเนื้อยและน้ำส่วนเกินออกแล้ว

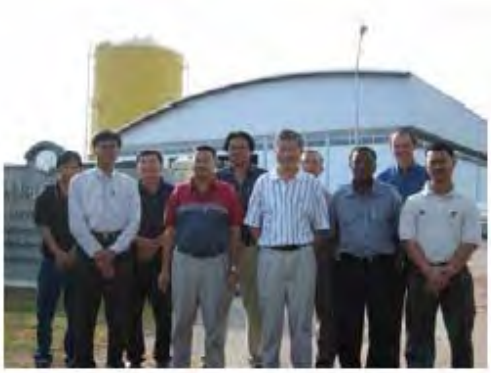
พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก แสดงในตารางที่ 2.49 ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่ากระบวนการหมักอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.49 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม[1]	ค่าที่วัดได้
พีเอช	-	6.8-7.4	7.0-7.4
กรดไขมันระเหย (VFA)	มก./ล.ของกรดอะซิติก	50-500	400
ความเป็นด่าง (Alk)	มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต	1,500-2,000	
C/N Ratio	-	25	22
ของแข็งละลาย (TDS)	มก./ล.	-	1,500

หมายเหตุ : [1] *การผลิตพลังงานทดแทนจากของเหลือทิ้งชีวมวล, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2548)*

นอกจากความสามารถในการกำจัดขยะอินทรีย์แล้ว โรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยองยังให้คุณค่าในด้านการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการจัดการขยะชุมชนในกรณีของการเทกองหรือการฝังกลบ โดยการนำก๊าซมีเทนที่ได้มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ทำให้โครงการได้รับความสนใจจากหน่วยงานด้านพลังงานทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น นักวิชาการจากกลุ่มประเทศยุโรปได้นำโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานเทศบาลนครระยองเข้าร่วมใน EC-Asean COGEN Programme Phase III (COGEN 3) โดยมีการติดตามประเมินผลการดำเนินงานเป็นระยะ และจากการติดตามประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญพบว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากขยะอินทรีย์มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทนมากกว่าร้อยละ60 ส่วนประกอบที่เหลือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังภาพที่ 2.68



ภาพที่ 2.68 การเยี่ยมชมและตรวจสอบระบบโดย COGEN 3

ในการติดตามตรวจสอบของคณะนักวิชาการจาก COGEN 3 ได้สรุปผลการปลดปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) สู่บรรยากาศที่จะเกิดขึ้นจากการนำขยะอินทรีย์ไปฝังกลบ ดังแสดงตามตารางที่ 2.50

ตารางที่ 2.50 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่บรรยากาศ

พารามิเตอร์	หน่วย	ก่อนดำเนินการ	หลังดำเนินการ
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	ตันต่อปี	4,540	96.80
มีเทน (CH_4)	ตันต่อปี	2,010	Neglected
ไนโตรเจนออกไซด์ (N_2O)	ตันต่อปี	Neglected	9.51
Total Carbon Dioxide (CO_2) Equivalent	ตันต่อปี	46,750	2,856.10

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์โดย EC-Asean COGEN Programme Phase III (COGEN 3)

2.3.1.4 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินงาน

การนำเทคโนโลยีการหมักแบบไม่ใช้อากาศมาใช้ในการกำจัดขยะอินทรีย์ จะมีต้นทุนการก่อสร้างและดำเนินงานสำหรับระบบรับและคัดแยกขยะชุมชน รวมทั้งระบบบดย่อยขยะอินทรีย์ซึ่งจะแตกต่างจากการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำเสียจากการปศุสัตว์ เช่น ฟาร์มสุกร การมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะชุมชนที่แหล่งกำเนิดจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยลดต้นทุนการลงทุนและการดำเนินงาน อีกทั้งจะช่วยให้ระบบการทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น

สำหรับโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยองนี้มีมูลค่าการลงทุนประมาณ 172 ล้านบาท ซึ่งรวมค่าจัดซื้อที่ดินเพิ่มเติมของเทศบาลนครระยอง ค่าการออกแบบ ค่าก่อสร้างติดตั้งเครื่องจักรและค่าที่ปรึกษาเพื่อควบคุมงานระหว่างการก่อสร้าง

ในการเดินระบบโดยมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานตลอดระยะเวลา 2 ปี เป็นระยะเวลาที่ได้สรุปข้อดี ข้อด้อยของเทคโนโลยีรวมถึงแนวทางการแก้ปัญหาอุปสรรคในการใช้เทคโนโลยีและต้นทุนดำเนินการ โดยต้นทุนค่าเดินระบบที่ครอบคลุมค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุปกรณ์ อาคารสถานที่ ค่าซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ก๊าซ ค่าใช้จ่ายวัสดุสิ้นเปลือง และค่าฝังกลบวัสดุคัดทิ้งของโรงงาน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 450 บาทต่อตัน โดยไม่หักรายได้ที่เกิดจากการขายวัสดุรีไซเคิล กระแสไฟฟ้า และปุ๋ยอินทรีย์ ตารางที่ 2.51 แสดงรายละเอียดการลงทุน ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน และผลประกอบการที่คาดว่าจะได้รับจากโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยองเมื่อสามารถเดินระบบได้เต็มประสิทธิภาพ หมายถึงสามารถรวบรวมขยะอินทรีย์เข้าสู่ระบบได้ประมาณวันละ 60 ตัน

ตารางที่ 2.51 รายละเอียดการลงทุน ค่าใช้จ่ายดำเนินงานและรายได้จากโรงงาน

รายการ	มูลค่า	หน่วย
มูลค่าการลงทุน	172.0	ล้านบาท
- ค่าก่อสร้าง	142.0	ล้านบาท
- ค่าที่ดิน	27.0	ล้านบาท
- ค่าจ้างที่ปรึกษา	3.0	ล้านบาท
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษา	23.0	ล้านบาท/ปี
รายได้จากการขายกระแสไฟฟ้า	7.2	ล้านบาท/ปี
รายได้จากการขายปุ๋ยหมัก	5.8	ล้านบาท/ปี
รายได้จากค่าธรรมเนียมการกำจัดขยะ	6.2	ล้านบาท/ปี
รายได้ทางอ้อม	16.3	ล้านบาท/ปี
- ลดการปลดปล่อยมีเทน	4.8	ล้านบาท/ปี
- ค่าที่ดินในการฝังกลบที่ลดลง	10.5	ล้านบาท/ปี
- การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม	1.0	ล้านบาท/ปี
ผลประโยชน์สุทธิทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการตลอดระยะเวลา 20 ปี	30.73	

ในกรณีนี้ยังไม่รวมผลประโยชน์ที่เกิดจากการลดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนและสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากการดำเนินงานระบบฝังกลบ ดังนั้น ผลประโยชน์สุทธิทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความเหมาะสมที่รัฐหรือท้องถิ่นจะลงทุนเพื่อเป็นสาธารณูปโภคด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น

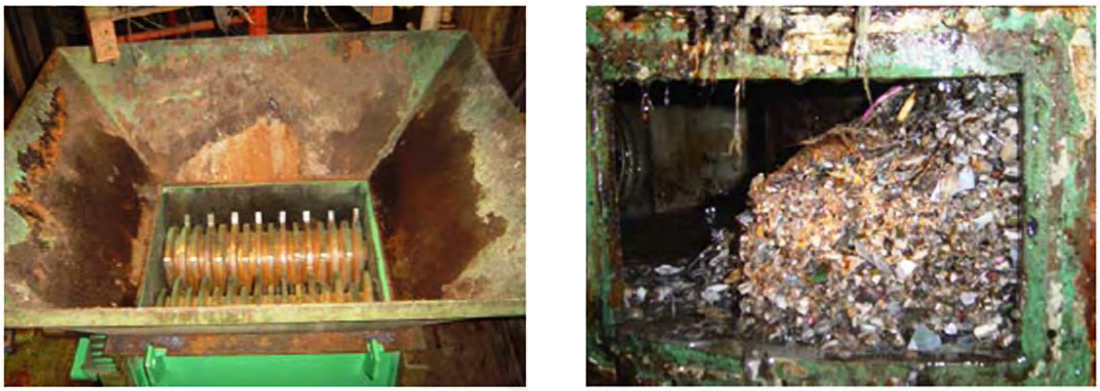
2.3.1.5 ปัญหาอุปสรรค และการแก้ไขเชิงเทคนิค

แม้ว่าโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานจะประสบผลสำเร็จในการดำเนินการในระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีอุปสรรคและข้อจำกัดต่างๆที่ควรได้รับการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อขยายผลการใช้เทคโนโลยีและเพื่อการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนต่อไป

ในส่วนของระบบรับและคัดแยกขยะต้องมีการปรับปรุงให้สอดคล้องกับลักษณะของขยะอินทรีย์และวิธีการเก็บขน เช่นเมื่อขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เป็นเศษอาหารถูกจัดเก็บมาพร้อมกับมีน้ำปริมาณมาก ระบบรับขยะจะต้องมีภาชนะบรรจุที่เหมาะสมเพื่อให้แยกน้ำออกจาก

ขยะอินทรีย์ ทำให้สะดวกในการรักษาส่วนของสารอินทรีย์ก่อนนำไปสู่ระบบหมัก อีกทั้งยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำเลอะเทอะพื้นบริเวณระบบรับขยะ

เครื่องบดย่อยขยะอินทรีย์เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หนักที่สุดในขั้นตอนการเตรียมขยะอินทรีย์ก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการหมัก การย่อยขยะอินทรีย์ให้มีขนาดที่เล็กลงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น แต่ในโครงการนี้จะพบว่ามีวัสดุที่ชิ้นใหญ่และวัสดุที่มีความแข็งปนมากับขยะอินทรีย์ซึ่งมักส่งผลทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ถัดไป นอกจากนี้ยังทำให้การกวนผสมภายในถังหมักทำได้ไม่สมบูรณ์ ของเหลวภายในถังหมักไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ภายในถังแบ่งออกเป็น 3 ชั้นได้แก่ชั้นตะกอนหนัก ชั้นของสารละลาย และชั้นของ Scum ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการแยกส่วนที่มีน้ำหนักมากออกจากขยะที่บดย่อยได้ โดยส่วนที่มีน้ำหนักมากซึ่งแยกออกมาได้จะนำไปเป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งผลจากการปรับปรุงระบบบดย่อยขยะอินทรีย์ดังภาพที่ 2.69 ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบดีขึ้นเห็นได้จากปริมาณก๊าซชีวภาพ และรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นดังแสดงใน ภาพที่ 2.70 ตามลำดับ

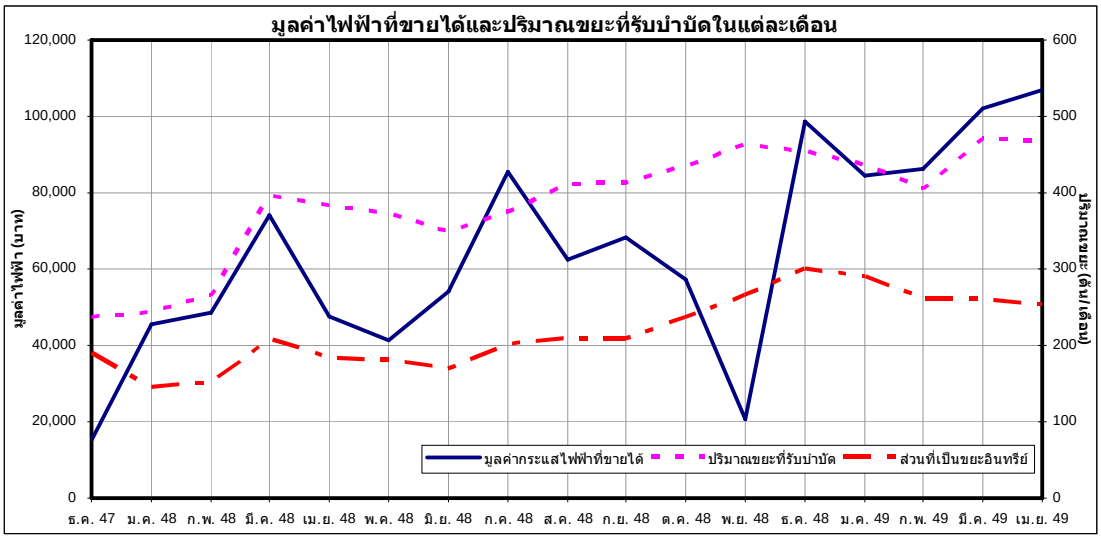


เครื่องบดย่อยเดิมซึ่งไม่สามารถแยกส่วนที่มีน้ำหนักมากออกได้

เครื่องบดย่อยใหม่มีความสามารถในการย่อยขยะอินทรีย์ได้ดีขึ้น

ภาพที่ 2.69 เครื่องบดย่อยขยะอินทรีย์แบบเดิมและแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้น

นอกจากนั้น แม้ว่าระบบจะได้รับการออกแบบให้สามารถนำน้ำที่ผ่านกระบวนการทำงานกลับมาใช้ซ้ำได้ แต่จากการเดินระบบพบว่าหากความเข้มข้นของของแข็งละลายในน้ำที่ใช้ในระบบสูงเกินไปจะเกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในถังหมัก ซึ่งจากการปฏิบัติงานพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



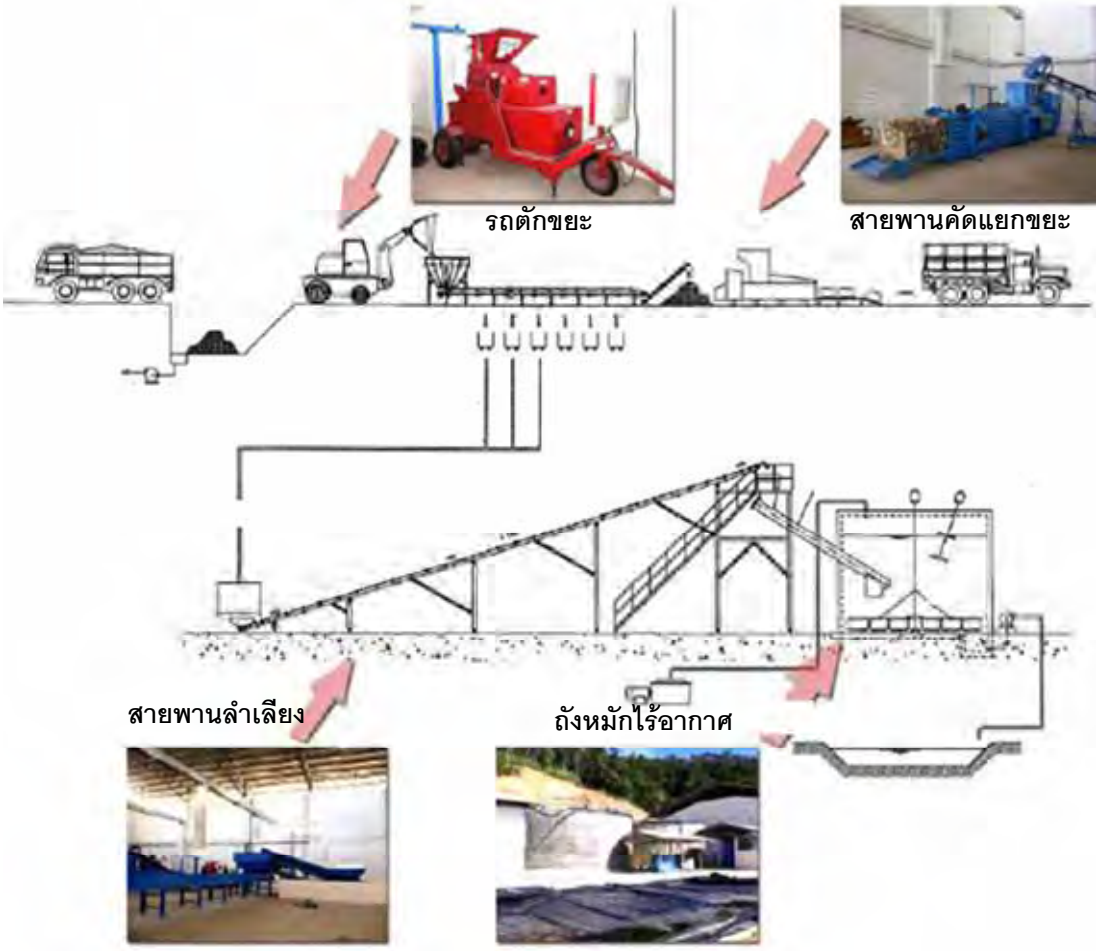
ภาพที่ 2.70 รายได้จากการขายกระแสไฟฟ้ากับปริมาณขยะอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

2.3.2 โครงการกำจัดขยะชุมชนโดยการใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ เกาะช้าง

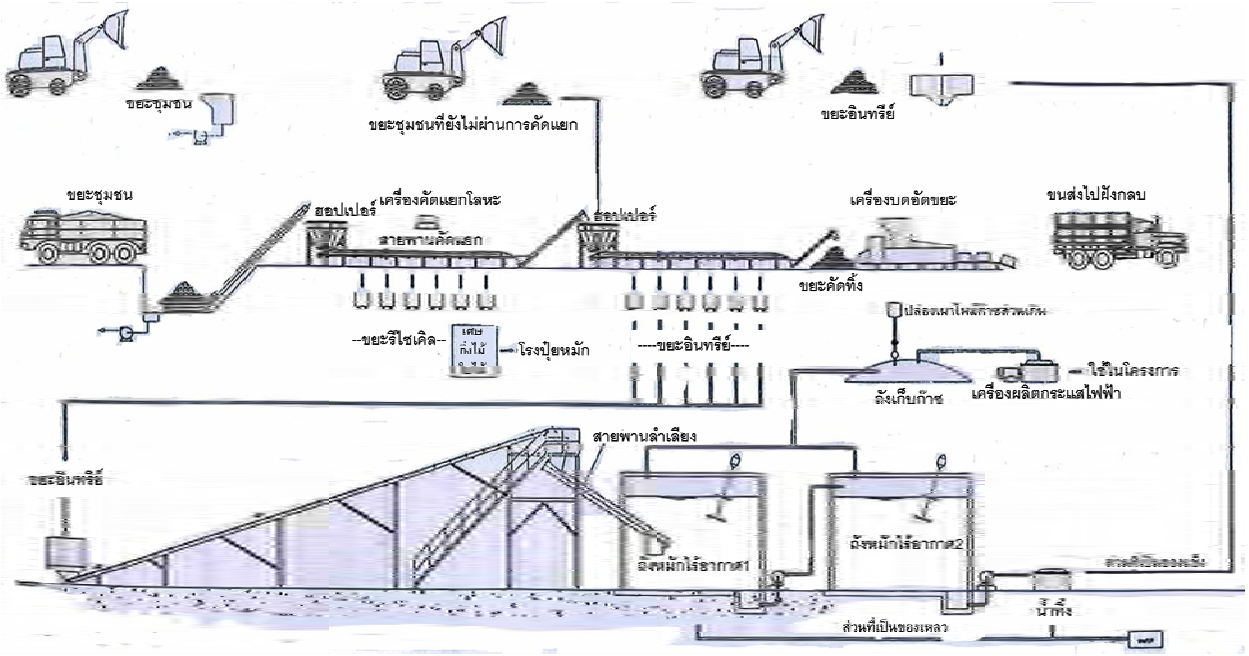
2.3.2.1 รายละเอียดของโครงการ

โครงการกำจัดขยะชุมชนโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) เป็นโครงการที่พัฒนาโดยองค์การบริหารจัดการพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (อพท.) มีขนาดสามารถรองรับขยะชุมชนขนาด 30 ตันต่อวัน และออกแบบให้นำก๊าซชีวภาพมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีกำลังการผลิต 70 KW เริ่มก่อสร้างตั้งแต่วันที่ 5 มิถุนายน 2548 ใช้พื้นที่บริเวณบ้านไชยเชษฐ์ อุทยานแห่งชาติหมู่เกาะช้าง โดยได้รับการอนุมัติงบประมาณสนับสนุนจากกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่นประมาณ 56.6 ล้านบาท ซึ่งอพท.มอบหมายให้หน่วยบัญชาการทหารพัฒนาเป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ใช้เวลาในการก่อสร้างนาน 1 ปีเศษโดยมีระบบคัดแยกขยะชุมชนและระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศซึ่งมีรายละเอียดตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.71 และภาพที่ 2.72

1. หน่วยชั่งน้ำหนัก
2. โรงคัดแยกขยะชุมชนประกอบด้วยหน่วยรับขยะชุมชน สายพานคัดแยก ระบบแม่เหล็กคัดแยกเหล็กอัตโนมัติ เครื่องคัดขยะชุมชน เครื่องบดและกำจัดกลิ่น
3. ถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ จำนวน 2 ถัง พร้อมระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพและหน่วยกำจัดก๊าซชีวภาพส่วนเกิน
4. หน่วยวัดตะกอนปุ๋ยชีวภาพ และหน่วยบ่มปุ๋ย
5. อาคารสำนักงาน และบ้านพักเจ้าหน้าที่
6. ถนนทางเข้าและถนนรอบโครงการ ทางระบายน้ำพร้อมการจัดภูมิทัศน์



ภาพที่ 2.71 องค์ประกอบของโรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชน



ภาพที่ 2.72 แผนผังแสดงกระบวนการทำงานในโรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชน

โครงการนี้ใช้เทคโนโลยีการหมักด้วยจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ จึงมีความจำเป็นต้องคัดแยกขยะชุมชน โดยใช้เครื่องจักรและแรงงาน ออกแบบไว้เพื่อคัดแยกวัสดุรีไซเคิลและขยะพิษอันตรายออกไปก่อน แล้วจึงนำเอาเฉพาะขยะอินทรีย์มาทำการหมัก โดยมีการควบคุมความชื้น อุณหภูมิ และสัดส่วนการอาหารประเภทคาร์บอนและไนโตรเจน ซึ่งสารอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจะมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยอินทรีย์อย่างดี นอกจากนี้ในการหมักแบบไร้อากาศจะได้ก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ (Biogas Engine)

2.3.2.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนและการบริหารดำเนินการ

ต้นทุนค่าก่อสร้างระบบมีมูลค่า 56.6 ล้านบาท โดยคาดว่าจะมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ โรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชนของเกาะช้าง ประมาณ 180,000 บาท/เดือน ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.52

ตารางที่ 2.52 คาดการณ์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโรงคัดแยกและกำจัดขยะชุมชน เกาะช้าง

ลำดับ		รายการค่าใช้จ่าย	จำนวน (บาท/ปี)
1		**ค่าดำเนินการในศูนย์กำจัดและค่าซ่อมบำรุง**	**875,633.88**
	1.1	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	244,800.00
	1.2	ค่าวัสดุสิ้นเปลือง	150,000.00
	1.3	ค่าซ่อมบำรุง	98,370.85
	1.4	ค่ารักษาพยาบาล	5,000.00
	1.5	ค่าลวดมัดขยะ**	45,000.00
	1.6	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ***	36,000.00
	1.7	เงินเดือนบุคลากร	223,132.50
		รวมหมวด1	802,303.35
		กำไร 2%	16,046.07
		รวม	818,349.42
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม	57,284.46
2		**ดำเนินการในศูนย์กำจัดและค่าซ่อมบำรุง**	**641,229.70**
	2.1	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	251,577.00
	2.2	เงินเดือนบุคลากร	248,452.50
	2.3	ค่าซ่อมบำรุง	87,500.00
		รวมหมวด 2	587,529.50
		กำไร 2%	11,750.59
		รวม	599,280.09
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม	41,949.61
3		**ค่าดำเนินการฝังกลบมูลฝอยทั่วไป**	**267,829.56**
	3.1	ค่าเช่ารถบรรทุก	60,000.00
	3.2	ค่าน้ำมัน	20,400.00
	3.3	ค่าเรือเฟอร์รี่	30,000.00
	3.4	ค่าบริการฝังกลบ	135,000.00
		รวมหมวด 3	245,400.00
		กำไร 2%	4,908.00
		รวม	250,308.00
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม	17,521.56
		รวมทั้งหมด	**1,784,693.13**

หมายเหตุ: * น้ำมันราคาลิตรละ 25.50 บาท

** ค่าลวดและค่าขนส่งไปเกาะช้าง 30 บาท/กก.ใช้ประมาณ 1.5 ตัน/เดือน

*** ค่าเลี้ยงรับรอง ค่าเรือเฟอรี่ ติดต่อประสานงาน

****ไม่รวมค่ารถเก็บขน

2.3.2.3 ผลการดำเนินงาน

องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะช้างใต้ได้ว่าจ้างห้างหุ้นส่วนจำกัดไพโรจน์สมพงษ์พาณิชย์ดำเนินงานจัดการเก็บขนและกำจัดขยะชุมชนบนเกาะช้างเป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มดำเนินการตั้งแต่ วันที่ 5 ตุลาคม 2549 ในวงเงิน 15.3 ล้านบาทต่อปี ซึ่งโดยเฉลี่ยมีขยะชุมชนเกิดขึ้นวันละประมาณ 20 ตัน ซึ่งอาจจะมีปริมาณสูงถึง 25 ตันในฤดูกาลท่องเที่ยว

ภายหลังการก่อสร้างโครงการแล้วเสร็จ ได้ทำการทดลองเดินระบบพบว่ามีขยะชุมชนเข้าสู่ระบบประมาณวันละ 15 ตัน และระบบสามารถคัดแยกวัสดุรีไซเคิลและขยะอินทรีย์ประมาณร้อยละ 30 ขยะชุมชนที่นำเข้าสู่ระบบทั้งหมด ส่วนที่คัดทิ้งจะถูกบดอัดแล้วขนส่งทางเรือไปกำจัดโดยการฝังกลบในสถานที่ฝังกลบของเทศบาลเมืองตราด จนถึงเดือนมกราคม ปี 2550 องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะช้างใต้ยังไม่สามารถเดินระบบได้เนื่องจากไม่มีงบประมาณในการเดินระบบ

2.3.2.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

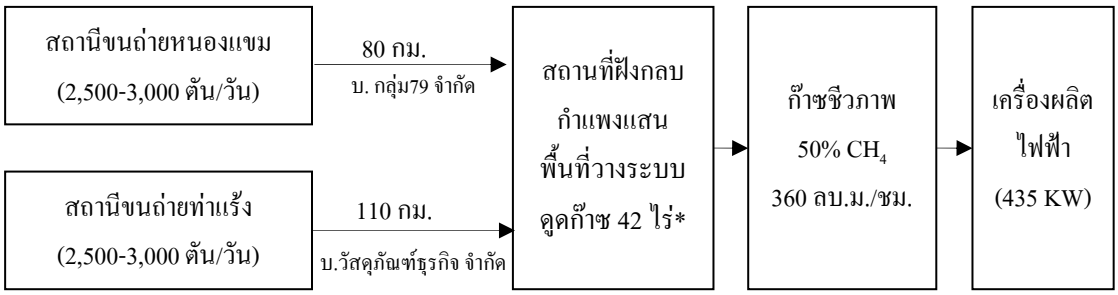
โครงการประสบปัญหาอุปสรรคในการถ่ายโอนโครงการจากหน่วยงานที่ริเริ่มโครงการคือ องค์การบริหารจัดการพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (อพท.) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น หลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จอพท.มีเจตนาที่จะถ่ายโอนโครงการให้กับองค์การบริหารส่วนตำบลเกาะช้างและเกาะช้างใต้เพื่อรับผิดชอบในการบริหารดำเนินการ โดยการจัดจ้างห้างหุ้นส่วนจำกัดไพโรจน์สมพงษ์พาณิชย์ ดำเนินงานโรงคัดแยกและกำจัดขยะ รวมถึงการเก็บขน การขนส่งไปกำจัด โดยในเบื้องต้นท้องถิ่นทั้ง 2 แห่งได้จัดสรรงบประมาณสมทบในการจัดจ้างเพิ่มเติมจากงบประมาณส่วนหนึ่งที่ได้รับการอุดหนุนจากกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น แต่เกิดความล่าช้าในกระบวนการถ่ายโอน ทำให้การดำเนินงานในช่วงทดลองเดินระบบล่าช้าขาดความต่อเนื่อง และยังไม่สามารถสรุปผลดำเนินการที่แน่นอนได้

2.3.3 โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2.3.3.1 บทนำ

ในปี 2538 ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เริ่มดำเนินโครงการบำบัดและใช้ประโยชน์จากขยะชุมชนโดยได้รับงบประมาณจากมูลนิธิชัยพัฒนา จำนวนเงิน 1 ล้านบาทเพื่อจัดตั้งกองทุนบำบัดและใช้ประโยชน์จากขยะชุมชนตามแนวพระราชดำริฯ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เมื่อครั้งเสด็จพระ

ราชดำเนินทอดพระเนตรอุทยานวิจัยในงานวันเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2538 ในการจัดตั้งโครงการมีเป้าหมายในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 650 กิโลวัตต์ ในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชนอย่างถูกหลักสุขาภิบาล กำแพงแสนซึ่งบริหารและดำเนินการโดยบริษัท กลุ่ม 79 จำกัด ซึ่งกรุงเทพมหานครเป็นผู้ว่าจ้าง มีปริมาณขยะชุมชนที่ขนถ่ายมากำจัดมีประมาณ 6,000 ตัน/วัน (จากสถานีขนถ่ายหนองแขมประมาณ 2,500-3,500 ตัน/วัน และจากสถานีขนถ่ายท่าแร้งประมาณ 2,500-3,000 ตัน/วัน) นอกจากนี้ บริษัทฯ ยังได้รับมอบหมายให้บริหารดำเนินการสถานีขนถ่าย และระบบขนส่ง โดยขยะชุมชนดังกล่าวไม่มีการคัดแยก



ภาพที่ 2.73 การผลิตกระแสไฟฟ้า สถานที่ฝังกลบกำแพงแสน

*หมายเหตุ: * หลุมดูดก๊าซ 6 หลุมในพื้นที่ 36 ไร่ และหลุมดูดก๊าซ 9 หลุมในพื้นที่ 6 ไร่*

2.3.3.2 รายละเอียดโครงการ

1) สถานที่ตั้ง

สถานที่ตั้งโครงการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตั้งอยู่ที่ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ครอบคลุมพื้นที่กว่า 900 ไร่ โดยจัดสรรการใช้พื้นที่ ระยะละ 60 ไร่ ซึ่งเดิมเป็นพื้นที่ดินเค็มใช้ประโยชน์ทางการเกษตรไม่ค่อยได้ผล และตั้งอยู่ไม่ห่างจากกรุงเทพมหานครมากนัก

2) ระบบการจัดการขยะชุมชน

ระบบการจัดการขยะชุมชนของที่กรุงเทพมหานครว่าจ้าง บริษัท กลุ่ม 79 จำกัด ได้แก่

2.1) สถานีขนถ่ายขยะชุมชน หนองแขม เป็นสถานที่ขนถ่ายขยะชุมชนที่เก็บขนโดยรถเก็บขนของกรุงเทพมหานครลงรถบรรทุกขนาดใหญ่ของบริษัทฯ ไปกำจัดที่สถานที่ฝังกลบกำแพงแสนระยะทาง 80 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีเครื่องเกลี่ยขยะชุมชน ภายในอาคารมีระบบระบายอากาศ ระบบดับเพลิง ในสถานีขนถ่ายมีอาคารชั่งน้ำหนัก และรถน้ำ เป็นต้น

2.2) ระบบขนส่งขยะชุมชนใช้รถขนถ่ายที่ออกแบบให้มีระบบเก็บน้ำเสีย (Leachate) ด้านล่างของตัวรถ ซึ่งจะรวบรวมมาบำบัดที่สถานที่น้ำเสียอำเภอกำแพงแสน มีผ้าใบคลุมมิดชิดเพื่อป้องกันการตกหล่นระหว่างขนส่ง นอกจากนี้ยังจัดให้มีใบกำกับการขนส่งประจำรถขนถ่ายทุกคัน เพื่อควบคุมปริมาณขยะชุมชนที่ขนส่ง และนำไปกำจัดได้ตลอดเวลา โดยหลังจากถ่ายขยะชุมชนลงพื้นที่พักขยะชุมชน แล้วรถทุกคันจำต้องทำความสะอาด ส่งใบกำกับการขนส่งและรับใบสั่งเที่ยวต่อไปและเดินทางไปสถานีขนถ่ายอีกครั้ง

2.3) สถานที่กำจัดขยะชุมชน กำแพงแสน

(1) บ่อฝังกลบ

พื้นสถานที่ฝังกลบบดอัดด้วยดินเหนียวอัดแน่น 85% Standard AASHTO ความหนา 0.06 เมตร และปู HDPE หนาไม่น้อยกว่า 1.50 มิลลิเมตร พร้อมปูแผ่น Geotextile ขนาดมวล 400 กรัม/ตารางเมตร เพื่อเพิ่มการรับน้ำหนัก และการเจาะทะลุ ด้านบนปูทับด้วยทรายหยาบหนา 0.40 ม. ส่วนด้านข้างบดอัดด้วยดินให้แน่น 85% AASHTO โดยมีฐานกว้าง 8 เมตร ที่ความลึก 12-18 เมตร และฐานกว้าง 6 เมตร ที่ความลึก 6-12 เมตรคาดด้วยดินเหนียวหนา 0.6 เมตรค่าการซึมน้ำไม่น้อยกว่า 7- 10 เซนติเมตร/วินาที และปูด้วย Geonet, HDPE หนา 1.5 มิลลิเมตรและ Geotextile ซึ่งจะสามารถป้องกันการซึมน้ำด้านข้างได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนคุณลักษณะเฉพาะของ Geonet, HDPE, Geonet เป็นไปตามรายละเอียดลักษณะเฉพาะด้านเทคนิค ความลาดเอียงของพื้นที่ฝังกลบ 1:2 ความกว้างหลังคัน 3 เมตร

ในการฝังกลบมีความหนาของขยะชุมชนชั้นละ 2.7 เมตร และกลบทับด้วยดินหนา 0.3 เมตร รวมความหนาทั้งหมด 3 เมตร โดยในแต่ละวันใช้วัสดุกลบทับหนา 0.15 เมตร สำหรับชั้นขยะชุมชนชั้นสุดท้าย ปิดทับด้วยแผ่น HDPE หนา 1 เมตร แล้วกลบทับด้วยวัสดุกลบทับที่เหมาะสมด้านข้างแต่ละวันหนา 0.6 เมตร

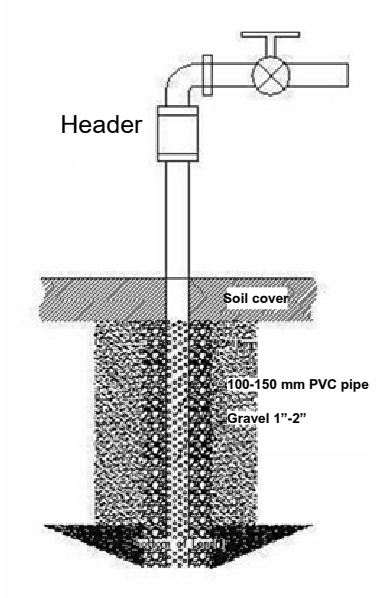
(2) ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย

ระบบรวบรวมน้ำเสียใช้ท่อ HDPE (Ø 125 มิลลิเมตร) เป็นท่อประธาน เจาะรูและพัน Geotextile รอบท่อ เพื่อรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่บ่อบำบัด ขนาด 1.50x1.50x1.00 เมตร หนา 0.20 เมตร ฝังลึกกว่าระดับก้นหลุม 1 เมตร จำนวน 3 บ่อ และต่อเชื่อมท่อประทานเป็นท่อ HDPE (Ø 200) มิลลิเมตร)ความลาดชัน 1:100 รวบรวบน้ำเสียจากท่อรองประทานไหลลงบ่อสูบคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด กว้าง 4 x ยาว 6 x สูง 4 เมตร ติดตั้งพร้อมเครื่องสูบขนาด(Ø 4 นิ้ว) ส่งลงไปยังท่อส่งน้ำ HDPE (Ø 150 มิลลิเมตร) ลงสู่บ่อบำบัดแบบรับเสถียร ซึ่งประกอบด้วย บ่อบำบัดแบบผสม บ่อหมักแบบใช้อากาศ และบ่อเก็บกักน้ำ จำนวนรวม 30 ไร่ และโดยรอบพื้นที่จะมีบ่อสังเกตการณ์ที่ฝังอยู่ลึกกว่าบ่อฝังกลบประมาณ 1 เมตร เพื่อสำรวจน้ำใต้ดินด้วย

(3) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมขยะ

(3.1) การรวบรวมก๊าซมีเทน

ในการดำเนินโครงการระยะแรก ได้ก่อสร้างหลุมดูดก๊าซแบบแนวดิ่งซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.74 บนกองขยะชุมชนที่มีชั้นความสูง 10-12 เมตร ท่อดูดก๊าซทำจากท่อ PVC (Ø 100-150 มิลลิเมตร) มีรูพรุนโดยรอบขนาด Ø 15 มิลลิเมตรบริเวณรอบท่อดูดก๊าซหินหรือกรวดกรุโดยรอบหนา 20-30 เซนติเมตร



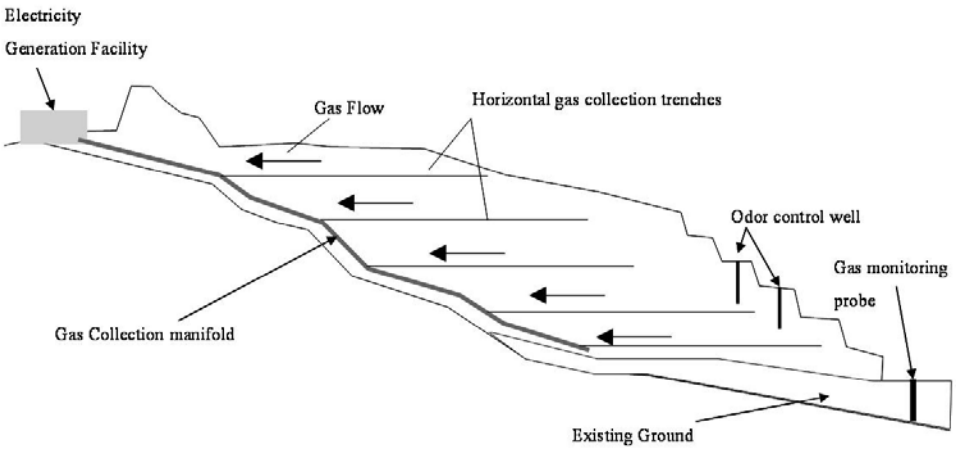
ภาพที่ 2.74 หลุมดูดก๊าซแนวดิ่ง (Vertical Wells)

ซึ่งจากผลการดำเนินงานพบว่าปริมาณก๊าซมีไม่เพียงพอสำหรับการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากในกองขยะชุมชนถูกน้ำชะขยะท่วม อย่างไรก็ตามเมื่อติดตั้งปั๊มดูดน้ำชะขยะชุมชนเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวกลับพบว่า การทำงานของปั๊มเกิดปัญหาขัดข้องและอุดตัน ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณก๊าซในระบบได้ และเนื่องจากกองขยะชุมชนที่ก่อสร้างระบบรวบรวมก๊าซเป็นกองขยะเก่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจึงลดลง ซึ่งจะไม่เพียงพอในระยะยาว จึงย้ายสถานที่ก่อสร้างหลุมดูดก๊าซใหม่ เพื่อให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปั๊มน้ำชะขยะออกจากพื้นที่ และสามารถขยายหลุมดูดก๊าซได้ในอนาคต

จากปัญหาหลุมดูดก๊าซแบบแนวดิ่งข้างต้น โครงการได้เปลี่ยนมาก่อสร้างหลุมดูดก๊าซแบบแนวนอนในพื้นที่ใหม่ ซึ่งมีความสูงของชั้นขยะ 18 เมตร (ภาพที่ 2.75 และ ภาพที่ 2.76) ท่อดูดก๊าซทำจาก PVC (Ø 100-150 มิลลิเมตร) กรุด้วยหินหรือกรวดโดยรอบมีความลาดชัน 3 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความลึกของระดับประมาณ 3-5 เมตร เนื่องจากแนท่อที่ก่อสร้างอยู่ใกล้ระดับผิวดิน ทำให้ไม่มีปัญหาน้ำชะขยะดังที่พบในหลุมดูดก๊าซแบบแนวนอนสำหรับการดูดก๊าซจะติดตั้งหัวดูดก๊าซด้านริมของความลาดชันจะทำให้สามารถเดินท่อรวบรวมก๊าซ

บนแนวราบทางด้านข้างของพื้นที่ได้สะดวก ซึ่งสามารถต่อขยายหรือเพิ่มเติมจำนวนหลุมดูดก๊าซได้ง่ายโดยเพิ่มจำนวนหลุมดูดในระหว่างแนวท่อเดิม เพราะไม่ต้องการเครื่องมือในการขุดเจาะหลุม ป้องกันปัญหาเรื่องน้ำชะขยะ และมีท่อรวบรวมก๊าซมีจำนวนแนวท่อน้อยกว่าระบบหลุมดูดก๊าซแนวดิ่ง แต่การจัดการและดูแลรักษาอาจจะยากกว่าในกรณีที่มีการทรุดตัวของพื้นที่ ข้อดีของหลุมดูดก๊าซแนวนอน คือ

- การก่อสร้างง่ายกว่าหลุมดูดก๊าซแนวดิ่ง
- ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำชะขยะ
- ไม่ต้องใช้พลังงานในการสูบหรือปั๊มน้ำชะขยะ
- การต่อขยายหรือเพิ่มเติมจำนวนหลุมดูดก๊าซทำได้ง่ายโดยเพิ่มจำนวนหลุมดูดในระหว่างแนวท่อเดิม
- ท่อรวบรวมก๊าซมีจำนวนแนวท่อน้อยกว่าระบบหลุมดูดก๊าซแนวดิ่ง



ภาพที่ 2.75 หลุมดูดก๊าซในแนวนอน (Horizontal Wells)

ภาพที่ 2.76 การจัดวางระบบรวบรวมก๊าซในการดำเนินโครงการระยะที่ 2

3.2) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ในการจัดตั้งโครงการเพื่อบำบัดและใช้ประโยชน์จากขยะชุมชน การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซมีเทนที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนเป็นผลพลอยได้เพื่อการกำจัดก๊าซที่เกิดขึ้นและลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโครงการแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1: ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 560 kW โดยต้องการก๊าซ 450 ลบ.ม./ชม. ในปี 2538-2540

ในระยะแรกโครงการได้รับงบประมาณจากสำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ จำนวน 26 ล้านบาท เพื่อวางระบบท่อรวบรวมก๊าซจำนวน 39 หลุม บนพื้นที่ 65 ไร่บนกองขยะที่มีความสูง 10-12 เมตร มีปริมาณขยะสะสม 1.3 ล้านตัน และจัดซื้อเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 435 kW จำนวน 2 เครื่อง หลังจากการก่อสร้างระบบรวบรวมก๊าซเสร็จสิ้น พบว่า มีปริมาณก๊าซที่รวบรวมได้เพียง 180 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จึงไม่เพียงพอสำหรับการเดินเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากมีปริมาณน้ำชะขยะมาก กองขยะมีความสูงน้อยเกินไป และปริมาณก๊าซลดลงอย่างรวดเร็วเพราะองค์ประกอบของขยะมีปริมาณสารอินทรย์ย่อยสลายเร็วมาก ส่วนกระดาษและสารย่อยช้ามีปริมาณน้อย

ระยะที่ 2: การปรับปรุงปริมาณและคุณภาพก๊าซ เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2541

เป็นการดำเนินการเพื่อปรับปรุงปริมาณและคุณภาพก๊าซให้เพียงพอต่อการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า โดยขุดหลุมเจาะสำรวจเพิ่มเติมในพื้นที่ใหม่ซึ่งมีความสูงของชั้นขยะ 18 เมตร ซึ่งดัดแปลงการสร้างหลุมดูดก๊าซแนวดิ่งเป็นแบบแนวนอน จำนวน 2 หลุมความยาวหลุมละ 90 เมตร หลังจากนั้นจึงขุดหลุมก๊าซเพิ่มอีก 4 หลุม ความยาวหลุมละ 100 เมตร บนพื้นที่ประมาณ 43,000 ตารางเมตร พบว่ามีอัตราการไหลของก๊าซประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีก๊าซมีเทนประมาณ 50% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.53 เพียงพอสำหรับการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 435 kW จำนวน 1 เครื่อง การดำเนินงานระยะที่ 2 นี้ได้การสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานจำนวน 485,000 บาท และกองทุนสิ่งแวดล้อมผ่านธนาคารโลกจำนวน US$ 25,000 นอกจากนี้ยังได้รับการสนุบสนุนผู้เชี่ยวชาญด้าน Landfill Gas ช่วยงานออกแบบระบบรวบรวมแก๊ส การจัดการ และการทดสอบจาก U.S.EPA

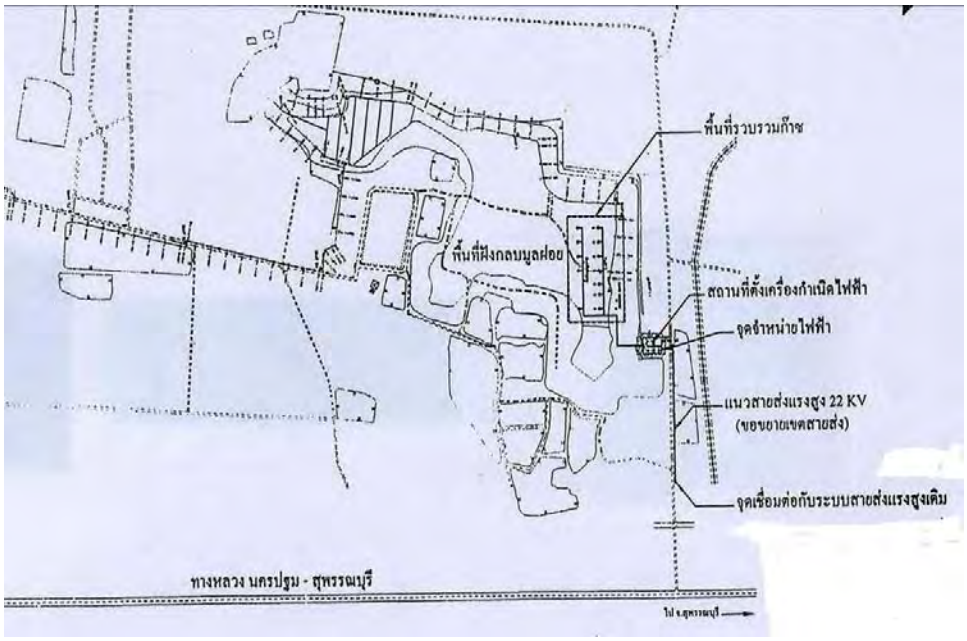
ตารางที่ 2.53 ปริมาณและคุณภาพก๊าซที่รวบรวมได้ในการทดสอบปี 2543

เดือน	ปริมาณ LFG (ลบ.ม./ชั่วโมง)	% ก๊าซมีเทน (CH_4) โดยปริมาตร
มีนาคม	355.7	43.2
เมษายน	398.6	48.7
พฤษภาคม	339.1	51.3
มิถุนายน	313.9	50.2
กรกฎาคม	315.6	52.6
สิงหาคม	299.3	54.4
กันยายน	307.5	55.9

เนื่องจากในโครงการ ระยะที่ 1 ได้จัดซื้อเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 435 กิโลวัตต์ ไว้จำนวน 2 เครื่อง จึงจำเป็นต้องมีหลุมดูดก๊าซเพิ่มเติมอีกจำนวนหนึ่งประกอบกับบริเวณหลุมดูดก๊าซที่สร้างไว้และส่วนที่วางแผนจะจัดสร้างเพิ่มเติมอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าประมาณ 3.6 กิโลเมตร ทำให้ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างท่อส่งก๊าซเพิ่มเติม นอกจากนี้แนวท่อส่งก๊าซเดิมที่สร้างไว้ความยาว 1.7 กิโลเมตร มีความเสียหายอันเนื่องมาจากการทรุดตัวของดินบริเวณถังดักความชื้น จำเป็นต้องรื้อและก่อสร้างใหม่ซึ่งในการดำเนินโครงการให้เสร็จสิ้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นเพิ่มเติมอีก เช่น เครื่องทำความสะอาดก๊าซ ระบบควบคุมและจ่ายไฟฟ้า การปรับปรุงอาคารโรงไฟฟ้า จำนวนหลุมดูดก๊าซสำรองเพื่อรองรับการลดลงของก๊าซตลอดอายุโครงการของโรงไฟฟ้า 12 ปี ทำให้ต้องใช้งบประมาณจำนวนมากกว่าที่ได้ประเมินไว้ในเบื้องต้น

ระยะที่ 3: การปรับปรุงระบบรวบรวบรวมก๊าซและอาคารโรงไฟฟ้า (ปี 2544-2546)

โครงการระยะที่ 3 ประกอบด้วย การก่อสร้างหลุมดูดก๊าซเพิ่มเติมให้เพียงพอสำหรับเดินเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ระบบท่อส่งก๊าซความยาว 3.6 กิโลเมตร ระบบทำความสะอาดก๊าซ, ติดตั้งเครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าระบบเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปรับปรุงอาคารโรงไฟฟ้า และทดสอบการทำงานของระบบต่างๆซึ่งในระหว่างดำเนินการโครงการระยะที่ 3 ได้ทำการทดลองเดินระบบดูดก๊าซในหลุมที่ 1-6 ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี 2543 – 2545 โดยผลการทดสอบปริมาณและคุณภาพก๊าซในเดือนพฤศจิกายน ปี 2545 แสดงดังตารางที่ 2.54



ภาพที่ 2.77 แผนผังพื้นที่และระบบรวบรวมก๊าซในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชนกำแพงแสน

ตารางที่ 2.54 ผลการทดสอบปริมาณและคุณภาพก๊าซ

หลุมดูดก๊าซที่	ปริมาณLFG (ลบ.ม./ชั่วโมง)	% ก๊าซมีเทน(CH_4) โดยปริมาตร	% ออกซิเจน(O_2) โดยปริมาตร
1	18.95	56.6	0.7
2	39.55	57.6	0.5
3	56.03	57.5	0.4
4	12.36	57.0	0.5
5	10.71	56.5	0.5
6	4.12	57.5	0.5
1-inside header	60.98	54.4	0.5
4-inside header	56.03	56.4	0.5
5-inside header	73.34	57.3	0.5
6-inside header	68.39	57.7	0.5

หมายเหตุ: ข้อมูล ณ เดือนพฤศจิกายน 2545

ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างระยะที่ 3 ต้องหยุดเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปปรับปรุงและย้ายมาติดตั้งบริเวณพื้นที่โรงไฟฟ้าใหม่ หลุม 1-6 เดิมต้องหยุดทำงานเป็นเวลานาน และเมื่อเริ่มทำงานใหม่ พบว่า ปริมาณก๊าซลดลงเหลือ 151 ล.บ.ม./ช.ม. จึงต้องเจาะหลุมเพิ่มอีก 3 หลุมแล้วเสร็จในเดือนมกราคม ปี 2548 ได้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นรวมกันมากกว่า 360 ล.บ.ม./ช.ม. เพียงพอสำหรับเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาด 435 KW รายละเอียดดังตารางดังแสดงในตารางที่ 2.55 และ ตารางที่ 2.56 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.55 การตรวจวัดก๊าซแหล่งฝังกลบขยะกำแพงแสน (หลุม 1-6) ระบบหลุมก๊าซเดิม

Well/Header	**Q (m^3/hr)**	**Landfill gas composition (%)**				**V (m/s)**	**Temp (°C)**
		CH_4	**CO_2**	**O_2**	**Bal**		
1	20.99	56.1	35.7	0.5	8.3	0.7	37.1
2	27.19	58.3	39.6	0.7	1.5	3.3	36.6
3	25.54	58.9	39.3	0.6	1.8	3.1	37.2
4	31.31	58.7	37.9	0.8	2.9	3.8	44.4
5	12.36	56.0	39.1	0.6	4.7	1.5	42.2
6	33.78	42.1	33.3	1.4	23.1	4.1	45.8
Total/Average	**151.17**	**55.0**	**37.5**	**0.8**	**7.1**		

หมายเหตุ: ข้อมูล ณ วันที่13 ตุลาคม 2547

ตารางที่ 2.56 การตรวจวัดก๊าซแหล่งฝังกลบขยะกำแพงแสน (หลุม 7-9) ก่อสร้างเพิ่มเติม

Well/Header		Q (m^3/hr)	landfill gas composition (%)				V (m/s)	Temp (C)	Remark
			CH_4	CO_2	O_2	Bal			
7	7A								7A Close
	7B	22.25	55.1	28.5	1.5	15.1	2.7	43.3	
	7C	42.85	56.3	27.7	1.2	15.0	5.2	43.7	
7 Total/Average		**65.10**	**55.7**	**28.1**	**1.4**	**15.1**			
8	8A								8A Close
	8B	32.14	48.1	30.0	1.4	21.1	3.9	47.1	
	8C	57.68	53.3	28.5	1.3	17.1	7	46.5	
8 Total/Average		**89.82**	**50.7**	**29.25**	**1.35**	**19.1**			
9	9A								9A Close
	9B	35.43	60.5	34.6	1.0	4.5	4.3	46.5	
	9C	51.91	55.0	30.9	0.9	13.4	6.3	45.0	
9 Total/Average		**87.34**	**57.75**	**32.75**	**0.95**	**8.95**			
Total/Average		**242.26**	**54.7**	**30.0**	**1.2**	**14.4**			

หมายเหตุ: ข้อมูล ณ วันที่18 ตุลาคม 2548

2.3.3.3 ผลการดำเนินโครงการ

เนื่องจากงานก่อสร้างโครงการระยะที่ 3 ไม่สามารถดำเนินการได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ เนื่องจากปัญหาและอุปสรรคหลายประการ ซึ่งสรุปได้ ดังนี้

1) การออกแบบ กำหนดคุณสมบัติของระบบเครื่องจักรต่างๆไม่สมบูรณ์ทำให้กระบวนการผลิตเกิดความล่าช้า

2) การเปลี่ยนข้อกำหนดเครื่องจักรทำให้งบประมาณที่ขอรับการสนับสนุนไม่เพียงพอ ต้องใช้เวลาในการขออนุมัติงบประมาณใหม่

อย่างไรก็ตาม เมื่อโครงการแล้วเสร็จ คาดว่าผลการดำเนินงานจะเป็นไปตามที่สรุปในตารางที่ 2.57

ตารางที่ 2.57 สรุปผลการดำเนินการ (การประเมิน) ของสถานที่ฝังกลบขยะกำแพงแสน

ลำดับ	รายละเอียด	หน่วย	จำนวน
1.	พื้นที่	ไร่	900
2.	ค่าก่อสร้างระบบฝังกลบ (Investment cost)	ล้านบาท	ไม่มีข้อมูล
3.	ค่าเดินระบบฝังกลบ (Operating cost)	ล้านบาท/ปี	ไม่มีข้อมูล
4.	รายได้จากระบบฝังกลบ		ไม่มีรายได้
5.	ค่าดำเนินการฝังกลบ	บาท/ตัน	354
6.	ปริมาณขยะชุมชนจากกรุงเทพมหานคร	ตัน/วัน หรือ ล้านตัน/ปี	6,000 หรือ 2.19
7.	ค่าก่อสร้างระบบรวบรวมก๊าซ Investment cost *(การประเมิน)*	ล้านบาท	
7.1	ค่าระบบหลุมดูดก๊าซในพื้นที่บ่อฝังกลบ ประมาณ 40 ไร่		3.50
7.2	ค่าระบบท่อส่งก๊าซ และปล่องเผาทิ้ง		3.50
7.3	ค่าเครื่องทำความสะอาดก๊าซ		5.70
7.4	ค่าเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า		8.90
7.5	ค่าปล่องเผาก๊าซทิ้ง		0.50
7.6	ค่าระบบต่อเชื่อมไฟฟ้า		4.20
7.7	ค่าลงทุนสำนักงาน อาคาร และบริเวณโรงไฟฟ้าบนพื้นที่ 2.5 ไร่		1.60
7.8	ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ดอื่นๆ		1.93
	รวมค่าก่อสร้างทั้งหมด	ล้านบาท	29.83
8	ค่าเดินระบบ (Operating cost) *(การประเมิน)*	ล้านบาท/ปี	
8.1	ค่าบำรุงรักษา		1.00
8.2	ค่าน้ำมันหล่อลื่น		0.50
8.3	ค่าบุคลากรโครงการ		1.00
8.4	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		0.50
8.5	ค่าบำรุงรักษาใหญ่		0.67
	รวมค่าเดินระบบทั้งหมด	ล้านบาท/ปี	3.67
9	ผลได้		
9.1	ปริมาณก๊าซชีวภาพ 50% มีเทน	ล้าน ลบ.ม./ปี	2.94
9.2	พลังงานไฟฟ้า	KW	435
9.2.1	ใช้ภายในระบบ	KW	95
9.2.2	ส่งขาย การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.)	KW	340
10	รายได้ (คาดการณ์)		
10.1	จากการขายไฟฟ้า 20 บาท/ KWh จำนวน 8,400 ช.ม./ปี	ล้านบาท/ปี	5.712

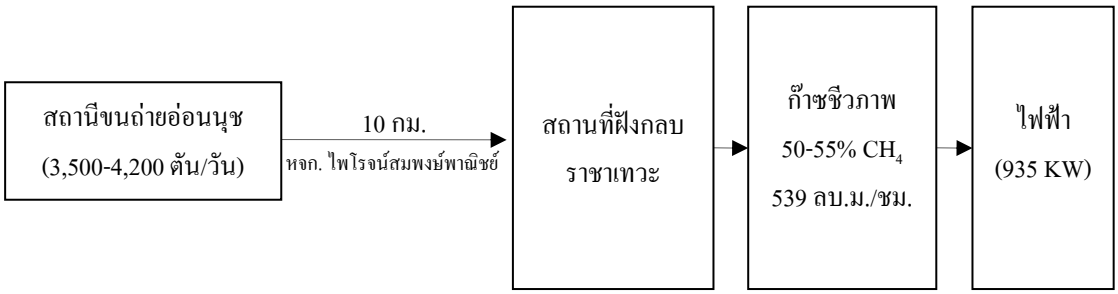
ที่มา: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ในการดำเนินโครงการมีเป้าหมายจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 340 กิโลวัตต์ เมื่อคิดค่าไฟฟ้าเบื้องต้นหน่วยละ 2 บาท คาดการณ์รายได้ปีละ 5.7 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม ต่อมาคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมีมติยกเลิกการสนับสนุนงบประมาณโครงการ เนื่องจากประสบปัญหาในการจัดซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องจัดซื้อในนามมหาวิทยาลัยจึงต้องผ่านขั้นตอนมากมายประกอบกับผลการตรวจสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งสองเครื่องจะต้องซ่อมแซมปรับปรุงเพื่อให้สามารถให้งานได้ ซึ่งต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูงเนื่องจากได้จัดซื้อและเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานโดยไม่มีการใช้งาน นอกจากนี้คณะกรรมการให้ความเห็นว่ามีโครงการในลักษณะเดียวกันได้ดำเนินการจนประสบผลสำเร็จในเชิงพาณิชย์แล้ว จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการศึกษาวิจัยต่อ

2.3.4 โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะชุมชนราชาเทวะ

2.3.4.1 บทนำ

เป็นโครงการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบเพื่อนำไปผลิตพลังงาน ตั้งอยู่ในสถานที่ฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล ราชาเทวะ ซึ่งรับกำจัดขยะชุมชนจากกรุงเทพมหานคร ประมาณวันละ 3,500 – 4,200 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของขยะชุมชนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร ดำเนินงานโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไพโรจน์สมพงษ์พาณิชย์ เปิดดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่เดือนธันวาคม 2547 แสดงดังภาพที่ 2.78



ภาพที่ 2.78 การจัดการขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้า สถานที่ฝังกลบราชาเทวะ

2.3.4.2 รายละเอียดโครงการ

1) สถานที่ตั้ง

สถานที่ฝังกลบขยะชุมชนของโครงการนี้ตั้งอยู่เลขที่ 142 หมู่ 14 ถนนกิ่งแก้ว ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ห่างจากสถานีขนถ่ายอ่อนนุชประมาณ 10 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 272 ไร่ดังแสดงในภาพที่ 2.79 ประกอบด้วยพื้นที่ฝังกลบประมาณ 180 ไร่ ระบบการจัดการน้ำชะขยะและน้ำฝน ระบบการนำก๊าซชีวภาพจากขยะมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน และพื้นที่ส่วนอำนวยการซึ่ง สนับสนุนการดำเนินงานฝังกลบให้มีประสิทธิภาพ เช่น ส่วนควบคุมการเข้าออก อาคารสำนักงาน ที่จอดรถ โรงงานซ่อมบำรุง โรงผลิตจุลินทรีย์ดับกลิ่น บ้านพักอาศัยคนงาน

ภาพที่ 2.79 แผนที่ตั้งโครงการ

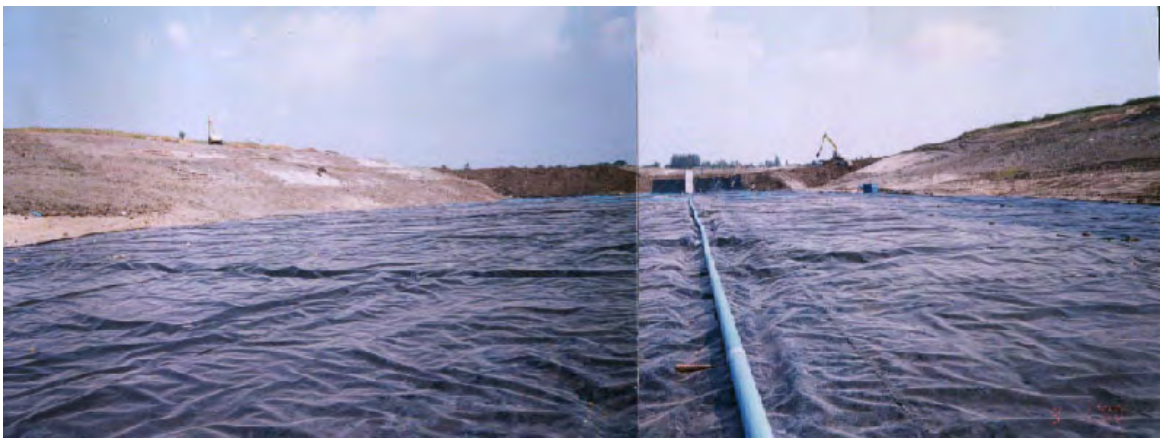
การใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบโครงการส่วนใหญ่เป็นแหล่งอุตสาหกรรมและบางส่วนเป็นแหล่งเกษตรกรรม แหล่งธุรกิจการค้า และแหล่งที่พักอาศัย เมื่อพิจารณาลักษณะทางธรณีวิทยาของโครงการส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง พบชุดดินเหนียวอ่อนสีดำปนเทาจากระดับดินเดิมถึง -14.5 เมตร ดินเหียวแข็งปานกลางสีเทาจากระดับ -14.5 ถึง -19.5 และดินเหนียวแข็งสีน้ำตาลปนเทาจากระดับ -19.5 ถึง -29.5 โดยระดับน้ำใต้ดินอยู่ระหว่าง -21.0 ถึง -23.0 เมตร ขึ้นอยู่กับฤดูกาล และจากการทดสอบอัตราการซึมน้ำของดินในสนามพบว่า ดินตั้งแต่ระดับดินเดิมจนถึงระดับ -29.5 เมตร มีอัตราการซึมน้ำต่ำกว่า $1x10^{-7}$ ซม./วินาที

2) การออกแบบและก่อสร้าง

2.1) สถานที่ฝังกลบ

สถานที่ฝังกลบราชาเทวะเริ่มดำเนินการตั้งแต่ ปี 2540 โดยการสูบน้ำที่ท่วมรอบพื้นที่ฝังกลบประมาณ 5 ล้านลูกบาศก์เมตรออก แล้วปรับสภาพพื้นที่และบดอัดดินซึ่งมีความลึกประมาณ 18 เมตรจากระดับดินเดิม โดยแบ่งพื้นที่ฝังกลบออกเป็น 2 เฟส สามารถรองรับขยะชุมชนได้ทั้งหมดประมาณ 9 ล้านตัน

พื้นที่เฟส 1 เริ่มดำเนินการตั้งแต่วันที่ 25 ธันวาคม ปี 2542 ในพื้นที่ 50 ไร่ อยู่ทางทิศตะวันตกของโครงการ ประกอบด้วย ระบบพื้นชั้นล่าง ระบบรวบรวมน้ำชะขยะ และระบบระบายน้ำฝนรอบพื้นที่ด้วยระบบร่องรวบรวม เริ่มดำเนินการฝังกลบตั้งแต่วันที่ 25 ธันวาคม ปี 2542 โดยพื้นที่ชั้นล่างของเฟส 1 จะอยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิมประมาณ 18 เมตร มีควาลาดชันด้านข้างทางดิ่ง: ทางราบ 1:3 พื้นดินจะถูกปรับแต่งให้มีความลาดชันประมาณ 1% และบดอัดให้ (HDPE Liner) หนา 1.5 มิลลิเมตร โดยเชื่อมต่อด้วยวิธีการ Hot Wedge Weld และตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธี Air and Vacuum Test เพื่อตรวจสอบการรั่วซึม



ภาพที่ 2.80 การปูแผ่น HDPE ด้านล่าง-ด้านข้าง และเดินท่อรวบรวมน้ำชะขยะ

สำหรับระบบรวบรวมน้ำชะขยะ บ่อรวบรวมเทคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 1.5x1.5 เมตร ลักษณะเป็นปล่องพรุน จำนวน 3 บ่อ โดยก่อสร้างต่ำกว่าระดับพื้นล่าง 1 เมตร จนถึงระดับฝังกลบสุดท้าย จากนั้นวางท่อแขนงรวบรวมน้ำชะขยะที่พันรอบด้วยแผ่น Geotextile บรรจบกันที่บ่อรวบรวม น้ำชะขยะจะถูกสูบโดยปั๊มน้ำไปยังระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

ภาพที่ 2.81 ก่อสร้างบ่อรวบรวมน้ำเสีย

ปัจจุบันพื้นที่เฟส 1 ได้มีการฝังกลบเต็มพื้นที่ มีปริมาณขยะชุมชนสะสมในพื้นที่ประมาณ 3,300,000 ตัน ซึ่งประกอบด้วย ขยะชุมชนสด และขยะชุมชนเก่าประมาณ 1,100,000 และ 2,200,000 ตัน ตามลำดับ โดยขยะชุมชนเก่าเป็นขยะที่ขนย้ายมาจากภูเขาขยะในโรงงานกำจัดขยะชุมชนอ่อนนุชซึ่งฝังกลบตั้งแต่ ปี 2506 – 2537

พื้นที่เฟส 2 เป็นสถานที่ฝังกลบที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันโดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี 2543 ในพื้นที่ 130 ไร่ ซึ่งตั้งอยู่ติดกับเฟส 1 ทางทิศตะวันออก ประกอบด้วย ระบบพื้นชั้นล่าง ระบบรวบรวมน้ำชะขยะ และระบบจัดการน้ำฝน ซึ่งมีการก่อสร้างและดำเนินการฝังกลบเช่นเดียวกับที่ดำเนินการในเฟส 1 แต่ในพื้นที่เฟส 2 นั้นได้เพิ่มชั้นระบายน้ำชะขยะ โดยเสริมทรายเหนือแผ่นวัสดุกันซึมหนาประมาณ 40 ซม. และสร้างบ่อรวบรวมน้ำชะขยะ จำนวน 16 บ่อ เนื่องจากเฟสนี้เป็นการฝังกลบขยะชุมชนสดทั้งหมด

2.2) การศึกษาการนำก๊าซชีวภาพจากขยะมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน

โครงการได้ว่าจ้างศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดำเนินการศึกษาการใช้ประโยชน์จากก๊าซจากหลุมฝังกลบจากแหล่งฝังกลบขยะชุมชนราชาเทวะเพื่อใช้เป็นพลังงาน จากการศึกษาพบว่าแนวทางการใช้ประโยชน์ที่มีศักยภาพคือ การผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตเชื้อเพลิงมีเทนเหลวซึ่งมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมีความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี โดยผลการศึกษาการประเมินปริมาณก๊าซมีเทน มีดังนี้

จากการประเมินทฤษฎี โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ E-Plus ของ USEPA ที่ศึกษาร่วมกับ Mr.Tom Wetherill ผู้เชี่ยวชาญของ USEPA พบว่าขยะชุมชนสะสม

ประมาณ 3.3 ล้านตัน จะสามารถรวบรวมก๊าซได้ประมาณ 2,500 ลบ./ม./ชม. จากพื้นที่ที่เจาะหลุมดูดก๊าซบนพื้นที่เฟสแรก 50 ไร่ สามารถขุดหลุดแนวนอนได้ 10 หลุม ความยาวหลุมละ 120 เมตร รวมเป็นความยาวประมาณ 1,200 เมตร จากการก่อสร้างหลุมดูดก๊าซแนวนอน ความยาวของท่อดูดก๊าซ 60 เมตร และทดสอบการดูดก๊าซในสนามจริงโดยวิธี pumping method ได้อัตราการดูด 120 ลบ.ม./ชม. ปริมาณก๊าซ 2 ลบ.ม./ชม. ต่อความยาวท่อดูดก๊าซ 1 เมตร ดังนั้น ในการก่อสร้างทั้งระบบมีความยาวท่อดูดก๊าซ รวม 2,400 เมตร และจะสามารถรวบรวมก๊าซได้ประมาณ 2,400 ลบ.ม./ชม. สอดคล้องกับผลการประเมินทางทฤษฎีข้างต้น

ปริมาณก๊าซ 2,400 ลบ.ม./ชม. นี้เทียบเท่ากับการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 3 MW อย่างไรก็ตาม ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มจะลดลงได้เพราะเป็นลักษณะของการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังนั้นถ้าใช้อัตราการลดลงของก๊าซปีละ 10 % จะทำให้มีปริมาณก๊าซในปีที่ 15 ของโครงการ คือ ปี 2560 (ค.ศ.2017) ประมาณ 549 ลบ.ม./ชม. ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MW (1,000 kW)

จากการทดสอบคุณภาพก๊าซของแหล่งฝังกลบขยะชุมชนราชาเทวะ พบว่าคุณภาพก๊าซโดยเฉลี่ยประมาณ 50% - 55 % มีเทน ดังนั้นปริมาณก๊าซที่ต้องการสำหรับเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MW (1,000 kW) ที่เสนอจึงมีความต้องการไม่มากกว่า 539 ลบ.ม./ชม. ปริมาณก๊าซส่วนที่เหลือจะเป็นปริมาณก๊าซสำรองซึ่งสามารถใช้ได้ตลอดอายุโครงการทั้งหมด 15 ปี

2.3) การผลิตกระแสไฟฟ้า

โครงการได้ก่อสร้างระบบรวบรวมก๊าซทั้งหลุมแนวนอนและหลุมแนวดิ่งในพื้นที่ฝังกลบเฟสที่ 1 ซึ่งมีจำนวน 50 ไร่ โดยทดสอบวัดคุณภาพและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น จากนั้นได้ทดลองทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 30 kW 55kW และ 250 kW ตามลำดับ (ภาพที่ 2.82)

เพื่อใช้ในแหล่งฝังกลบขยะชุมชนซึ่งปัจจุบันโครงการได้ประสบความสำเร็จในส่วนหนึ่ง และกำลังทดลองต่อเนื่องไปอีก เพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลเฉพาะด้านที่ประสบความสำเร็จครั้งแรกในประเทศ นอกจากนี้โครงการฯ ได้ทำลายก๊าซส่วนเกินโดยการเผาทำลายจำนวน 5 ปล่องเผา (ภาพที่2.83) โดยทำการเผาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน เพื่อลดปัญหาก๊าซเรือนกระจกและกลิ่นอีกด้วย นอกจากนี้ โครงการได้จัดตั้งโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยได้ออกแบบกระบวนการนำก๊าซชีวภาพจากขยะมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ตกลงรับซื้อไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 MW (1,000 kW)

ภาพที่ 2.82 การผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ก๊าซจากบ่อฝังกลบเป็นเชื้อเพลิง

ภาพที่ 2.83 การเผาก๊าซมีเทนทิ้ง

2.3.4.3 ผลการดำเนินการ

สำหรับการดำเนินการของสถานีที่ฝังกลบขยะชุมชนราชาเทวะ เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ตั้งแต่ เดือนมีนาคม ปี 2549 สามารถสรุปผลการดำเนินการและปริมาณการซื้อ-ขายไฟฟ้า ได้ดังตารางที่ 2.58 และ 2.59

ตารางที่ 2.58 สรุปผลการดำเนินการของสถานที่ฝังกลบขยะชุมชน ราชาเทวะ

ลำดับ	รายละเอียด	หน่วย	จำนวน
1.	พื้นที่	ไร่	272
1.1	พื้นที่ฝังกลบ		180
1.2	พื้นที่อื่นๆ (เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย ที่พักคนงาน อาคาร เป็นต้น)		92
2.	ค่าก่อสร้างพื้นที่ฝังกลบ (Investment cost)	ล้านบาท	ไม่มีข้อมูล
3.	ค่าเดินระบบการฝังกลบ (Operating cost)	ล้านบาท/ปี	ไม่มีข้อมูล
4.	ค่าดำเนินการ	บาท/ตัน	
4.1	ขยะธรรมดา		323
4.2	ค่าดำเนินกาขยะที่มีการห่อ-พัน		512
5.	ปริมาณขยะชุมชน	ตัน/วัน หรือ ล้านตัน/ปี	3,000-4,2000 หรือ 1.27-1.53
6.	ค่าก่อสร้างโครงการระบบผลิตไฟฟ้า Investment cost	ล้านบาท	
6.1	ค่าระบบรวบรวม และดูดอากาศ		19.30
6.2	ค่าเครื่องยนต์ก๊าซ และอุปกรณ์		35.70
6.3	ค่าต่อเชื่อมระบบ		2.80
6.4	ค่าค่าอาคาร		0.20
6.5	ค่าเผื่อความเสี่ยง		2.00
	รวมค่าก่อสร้างทั้งหมด	ล้านบาท	60.00
7	ค่าเดินระบบ (Operating cost) *(การประเมิน)*	ล้านบาท/ปี	
7.1	ค่าซ่อมบำรุงระบบ		3.00
7.2	ค่าบุคคลากร		1.50
7.3	ค่าเช่าที่ดิน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ		0.80
	รวมค่าเดินระบบการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด	ล้านบาท/ปี	5.30
8	ผลได้		
8.1	ปริมาณก๊าซชวีภาพ 50%-55% มีเทน	ล้าน ลบ.ม./ปี	4.31
8.2	พลังงานไฟฟ้า	KW	935
9.	รายได้ (คาดการณ์)	KW	
9.1	จากการขายไฟฟ้า 20 บาท/ KWh จำนวน 8,400 ช.ม./ปี	KW	
	รวมรายได้ทั้งหมด	ล้านบาท/ปี	11.13

หมายเหตุ: ข้อ 8-9 เป็นการประเมินในปีแรกของโรงการ (ประเมินปี 2544)

ที่มา: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ตารางที่ 2.59 สรุปการซื้อ- ขายไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าราชาเทวะ

เดือน	ซื้อจากกฟน. (ขายปลีก)				ขายให้กฟน. (ขายส่ง)			
	on Peak	Off Peak	รวม	ค่าไฟฟ้า	on Peak	Off Peak	รวม	ค่าไฟฟ้า
มกราคม	-	-	-	-	-	-	-	-
กุมภาพันธ์	-	-	-	-	-	-	-	-
มีนาคม	-	-	-	3,657.78	233,000.00	335,000.00	568,000.00	1,588,299.87
เมษายน	1,000.00	-	1,000.00	9,154.74	197,000.00	437,000.00	634,000.00	1,650,379.13
พฤษภาคม	-	-	-	955.32	248,000.00	442,000.00	690,000.00	1,861,485.63
มุนายน	-	-	-	2,804.37	226,000.00	320,000.00	546,000.00	1,590,473.25
กรกฎาคม	18.00	1,000.00	18.00	1,950.96	233,000.00	461,000.00	694,000.00	1,919,855.85
สิงหาคม	-	-	1,000.00	7,269.14	237,000.00	356,000.00	593,000.00	1,714,043.06
กันยายน	-	-	-	4,937.90	260,000.00	411,000.00	671,000.00	1,923,492.78
ตุลาคม	-	-	-	4,653.43	264,000.00	438,000.00	702,000.00	1,934,776.14
พฤศจิกายน	-	-	-	3,088.84	273,000.00	399,000.00	672,000.00	1,891,425.73
ธันวาคม	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม 2549	1,018.00	1,000.00	2,018.00	38,472.48	2,171,000.00	3,599,000.00	5,770,000.00	16,074,231.44

หมายเหตุ: ค่าไฟฟ้ารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

2.3.4.4 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาอุปสรรคในการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ ทำให้ผลตอบแทนไม่เป็นไปตามที่คาดไว้เพราะ มีค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้ประเมินไว้ตอนประเมินทางเศรษฐศาสตร์เกิดขึ้น ค่อนข้างเยอะ เช่น ค่าซ่อมบำรุงระบบรวบรวมก๊าซ ค่าจ้างบุคลากร

2) ขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้โดยตรง เนื่องจากเครื่องนี้เป็นเครื่องแรกในประเทศไทย

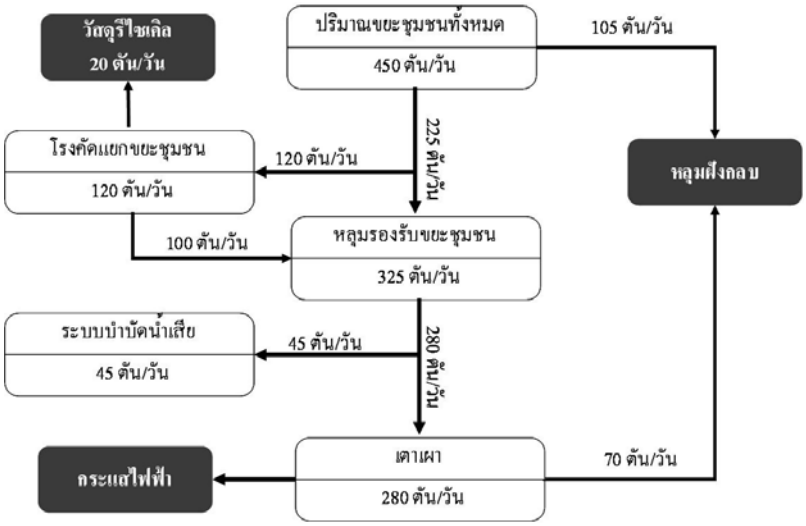
3) ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างโรงไฟฟ้า มีขั้นตอนการอนุญาตของระบบราชการมากและใช้เวลานาน ควรลดขั้นตอนการขออนุญาตเพื่อสนับสนุนนโยบายพลังงานทดแทนและในการเก็บค่าไฟฟ้าในกฎ VSPP ระบุไว้ว่าเอกชนจะต้องจ่ายเงินค่าไฟฟ้าภายใน 15 วันหลังจากได้รับใบแจ้งหนี้ และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะจ่ายเงินให้เอกชนภายใน 30 วันหลังจากได้รับใบแจ้งหนี้ แต่ก่อนหน้าที่เอกชนจะทำใบแจ้งหนี้ การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายใช้เวลาในการคิดค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้เอกชนอีก 30 วัน ซึ่งรวมแล้วต้องใช้เวลาถึง 60 วันกว่าจะได้รับเงินค่าไฟฟ้า

2.3.5 โครงการเตาเผาและผลิตพลังงาน เทศบาลนครภูเก็ต

2.3.5.1 บทนำ

กรมโยธาธิการได้ทำการศึกษาและออกแบบก่อสร้างโรงเตาเผาขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต ขนาด 250 ตัน/วัน ดังภาพที่ 2.84 ตั้งอยู่ในบริเวณป่าสงวนและป่าชายเลนเสื่อมสภาพ คลองเกาะผี อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต บนพื้นที่ 47 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ก่อสร้างบริเวณโรงงาน 23 ไร่ และพื้นที่ฝังกลบเถ้า 23 ไร่ ใช้งบประมาณในการก่อสร้างทั้งสิ้น 788 ล้านบาทงานก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2541 และเริ่มดำเนินการในเดือนมิถุนายน 2542 โดยบริการกำจัดขยะชุมชนให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทุกแห่งในจังหวัดภูเก็ตประกอบด้วยเทศบาลจำนวน 6 แห่งและอบต. 13 แห่ง โดยมีเทศบาลนครภูเก็ตรับผิดชอบในการบริหารดำเนินการและควบคุมดูแลด้วยการว่าจ้างให้บริษัทกำจรกิจก่อสร้าง จำกัด ดำเนินการและบำรุงรักษา และเทศบาลนครภูเก็ตจัดเก็บค่าบริการกำจัดในอัตราตันละ 200 บาท ซึ่งในช่วงปลายปี 2549 มีปริมาณขยะชุมชนที่เข้าสู่ระบบเตาเผาประมาณ 450 - 500 ตัน/วัน มากกว่าขีดความสามารถของเตาเผา ทำให้ขยะชุมชนส่วนหนึ่งต้องนำไปฝังกลบ

เทศบาลนครภูเก็ตจึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเตาเผาเพิ่มขึ้นโดยขอรับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากรัฐเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับขยะชุมชนอีกประมาณ 250 ตัน/วัน



ภาพที่ 2.84 ระบบการจัดการขยะชุมชนของเทศบาลนครภูเก็ตและสมดุลมวล

2.3.5.2 รายละเอียดของระบบ

เตาเผาขยะชุมชนของเทศบาลนครภูเก็ต ประกอบด้วยอาคารเตาเผา ระบบฝังกลบเพื่อใช้ในการกำจัดเถ้าจากการเผาและโครงสร้างอื่นๆเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับโรงงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.85 ภายในอาคารเตาเผาประกอบด้วยเตาเผา 1 ชุดแบบตะกรับเคลื่อนที่ (Moving Grate) ซึ่งการเคลื่อนที่ของตะกรับจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น สามารถเผาขยะชุมชนได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเผาไหม้ของก๊าซร้อนประมาณ 800-900 °C และมีเวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผาไหม้อย่างน้อย 2 วินาที และควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติทุกกระบวนการ มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า 2.5 MW ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้ในระบบเตาเผาทั้งหมดและมีไฟฟ้าส่วนเกินที่นำไปจำหน่าย มีระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบควบคุมกลิ่นและเสียง เพื่อควบคุมไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม มีกระบวนการทำงานของเตาเผาโดยสรุปดังนี้

1) ขยะชุมชนทั้งหมดจะถูกเก็บรวบรวม ชั่งน้ำหนักและเทลงในบ่อรับขยะจากนั้นพนักงานห้องควบคุมจะลำเลียงขยะชุมชนป้อนเข้าเตาเผา

2) ขยะชุมชนจะถูกเทเข้าช่องรองรับจะไหลเข้าไปสู่ลานเผา

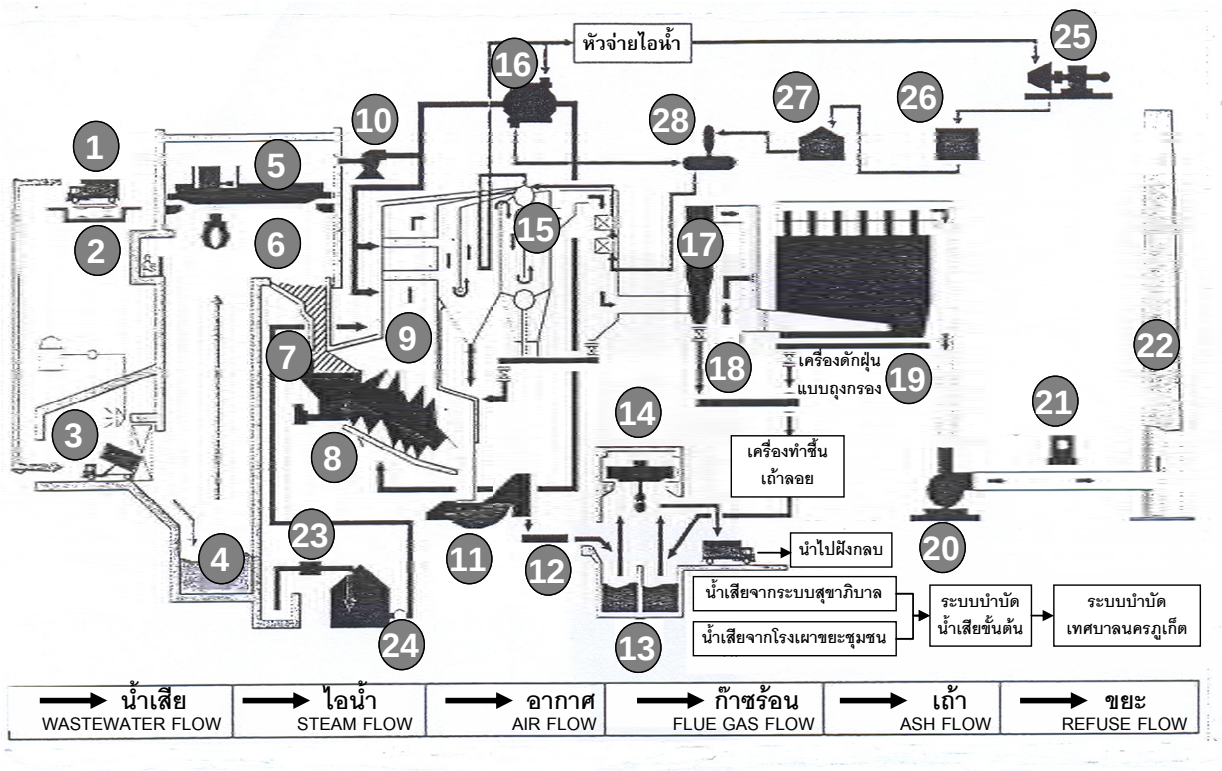
3) ขยะชุมชนที่เพิ่งไหลเข้าไปในเตาเผาจะผสมกับขยะเก่าที่กำลังเผาไหม้

4) กระบวนการเผาไหม้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ในช่วงระยะเวลาหนึ่งก็จะเริ่มป้อนขยะชุมชนชุดใหม่เข้าไปในเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง

5) ขยะจะเคลื่อนตัวไปตามการเคลื่อนที่ของตะกรับ และการเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องบนตะกรับ ตั้งแต่การระเหยน้ำให้แห้ง การระเหยสารระเหย การเผาไหม้ และเมื่อขยะที่เผาไหม้

เคลื่อนตัวถึงด้านล่างของตะกรับก็จะเผาไหม้เสร็จสมบูรณ์ และจะถูกดันตกลงไปยังกระบะรองรับเถ้าเพื่อนำออกนอกห้องเผาไหม้

ก๊าซร้อนที่ไหลออกมาจากห้องเผาไหม้จะเข้าสู่หม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำและลดอุณหภูมิก๊าซไอเสียให้อยู่ที่ประมาณ 230-300 °C จากนั้นก๊าซไอเสียจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศและถูกดูดด้วยพัดลมดูดอากาศก่อนที่จะปล่อยระบายออกทางปล่องระบายต่อไป ไอน้ำที่ผลิตได้จะนำมาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า



1. รถเก็บขนมูลฝอย REFUSE COLLECTION TRUCK
2. สะพานชั่งน้ำหนักมูลฝอย REFUSE WEIGHING BRIDGE
3. ลานเข้าเทมูลฝอย PLATFORM
4. บ่อพักมูลฝอย REFUSE PIT
5. ปั้นจั่นขนถ่ายมูลฝอย REFUSE CRANE
6. กรวยรับมูลฝอย CHARGING HOPPER
7. เครื่องป้อนมูลฝอย REFUSE FEEDER
8. ชุดอุปกรณ์เคลื่อนมูลฝอย STOKER
9. ห้องเผามูลฝอย FURNACE
10. พัดลมอัดอากาศ FORCED DRAFT FAN
11. เครื่องรับและระบายเถ้า ASH EXTRACTOR
12. เครื่องส่งผ่านเถ้าแบบสั่นสะเทือน VIBRATING CONVEYOR
13. บ่อพักเถ้า ASH PIT
14. ปั้นจั่นขนถ่ายเถ้า ASH CRANE
15. หม้อไอน้ำ BOILER
16. เครื่องทำความร้อน โดยใช้ไอน้ำ STEAM AIR HEATER
17. เครื่องทำความเย็นแบบพ่นฝอย SPRAY COOLER
18. เครื่องพ่นผงปูนขาว LIME INJECTION
19. เครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง BAG FILTER
20. พัดลมดูดอากาศ INDUCED DRAFT FAN
21. เครื่องตรวจสอบมลพิษทางอากาศ แบบต่อเนื่อง CONTINUOUS EMISSION MONITORING
22. ปล่องควัน STACK
23. เครื่องกรองน้ำเสียจากมูลฝอยในบ่อพัก REFUSE DRAINAGE FILTER
24. เครื่องสูบน้ำเสียจากมูลฝอย REFUSE DRAINAGE INJECTION PUMP
25. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบกังหันไอน้ำ STEAM TURBINE GENERATOR
26. เครื่องทำให้อากาศเย็น AIR COOLED CONDENSOR
27. ถังควบแน่น CONDENSATE TANK
28. เครื่องไล่อากาศ DEAERATOR

ภาพที่ 2.92 ระบบโรงเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต

2.3.5.3 ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานในปี 2549 มีขยะชุมชนเข้าสู่ระบบ 156,708 ตัน หรือ 400 ตัน/วัน โดยสามารถเผาได้ 83,044 ตัน มีปริมาณเถ้าหนักรวม 16,777 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 20 และเถ้าเบารวม 2,899 ตัน สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้รวม 12,187,342 kWhr หรือคิดเป็น 36,141 kwhr/วัน ใช้ในโครงการรวม 7,033,971 kWhr ส่งจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 5,347,108 kWhr ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.60 และ 2.61 โดยมีค่าใช้จ่ายในการบริหารดำเนินการระบบจากการบันทึกของเทศบาลนครภูเก็ตซึ่งประกอบด้วย ค่าจ้างบุคลากร ค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าซ่อมบำรุงและชิ้นส่วนสำรอง ค่าสารเคมี และค่าวิเคราะห์คุณภาพน้ำและอากาศ ในอัตรา 607 บาท/ตัน

ตารางที่ 2.60 สรุปผลการดำเนินงานเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต (กุมภาพันธ์ 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549)

รอบเดือนรายงานที่	ระหว่างวัน-เดือน-ปี	ปริมาณมูลฝอยไม่รวมน้ำที่รับเข้าโรงเผา (ตัน)	ปริมาณมูลฝอยไม่รวมน้ำ*			ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ตัน)	
			ถูกเผา (ตัน)	ถูกคัดแยก (ตัน)	เฉลี่ยเผา (ตัน/วัน)	เถ้าหนัก	เถ้าเบา
1	1 ก.พ. 48 - 30 มี.ค.48	1,173.36	651.04	158.96	81.38	91.05	0.00
2	31 มี.ค.48 - 29 เม.ย.48	5,521.37	5,855.05	116.39	243.96	971.32	91.49
3	30 เม.ย.48 - 29 พ.ค.48	7,513.47	7,278.19	152.92	242.61	1,489.79	130.57
4	30 พ.ค.48 - 28 มิ.ย.48	7,818.88	7,910.96	242.95	263.70	1,341.56	465.28
5	29 มิ.ย.48 - 28 ก.ค.48	7,819.71	7,721.18	201.34	257.70	1,333.98	179.67
6	29 ก.ค.48 - 27 ส.ค.48	5,123.48	5,813.90	182.90	276.85	1,048.91	485.90
7	28 ส.ค.48 - 26 ก.ย.48	7,369.09	6,918.16	152.80	266.08	1,485.65	131.74
8	27 ก.ย.48 - 26 ต.ค.48	9,046.91	8,022.27	175.09	267.41	1,757.86	276.30
9	27 ต.ค.48 - 25 พ.ย.48	8,565.17	7,994.73	172.90	266.49	1,814.33	178.04
10	26 พ.ย.48 - 25 ธ.ค.48	8,377.83	7,728.80	152.34	257.63	1,986.12	240.66
11	26 ธ.ค.48 - 24 ม.ค.49	8,623.19	6,943.40	111.55	257.16	1,514.08	232.84
12	25 ม.ค.49 - 20 ก.พ. 49	11,080.96	10,206.98	220.91	275.86	1,942.68	487.13
รวม		88,033.42	83,044.66			16,777.33	2,899.62
เฉลี่ย		7,336.12	6,920.39			1,398.11	241.64

ตารางที่ 2.61 สรุปผลการดำเนินงานเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต (กุมภาพันธ์ 2548 ถึง กุมภาพันธ์ 2549)

รอบรายงานที่	ระหว่างวันเดือนปี	ปริมาณมูลฝอยที่เผาได้ไม่รวมน้ำ (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้และการใช้ (kWh)			ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ (kWh)		ปริมาณไฟฟ้าเฉลี่ย (หน่วย/วัน)		
			ผลิตได้	ส่งให้ กฟภ	ใช้ในโครงการ	รับจากกฟภ.	รวม	ผลิตได้	ส่งให้กฟภ.	ใช้ในโครงการ
1	1 ก.พ.48 - 30 มี.ค.48	651.04	97,300.00	44,733.00	52,567.00	127,314.00	152,575.00	12,163.00	5,592.00	5,086.00
2	31 มี.ค.48 - 29 เม.ย.48	5,855.06	952,800.00	411,755.00	465,147.00	97,546.00	562,693.00	39,700.00	17,156.00	18,756.00
3	30 เม.ย.48 - 29 มิ.ย.48	7,278.19	1,054,400.00	435,118.00	552,714.00	81,665.00	634,379.00	35,147.00	14,504.00	21,146.00
4	29 มิ.ย.48 - 28 ก.ค.48	7,910.96	1,074,500.00	407,677.00	591,301.00	54,054.00	645,355.00	35,817.00	13,589.00	21,512.00
5	29 ก.ค.48 - 27 ส.ค.48	7,721.18	943,387.00	339,677.00	552,554.00	54,088.00	606,642.00	31,446.00	11,323.00	20,221.00
6	28 ส.ค.48 - 26 ก.ย.48	5,813.90	933,100.00	457,204.00	437,524.00	67,689.00	505,213.00	44,433.00	21,772.00	16,840.00
7	27 ก.ย.48 - 26 ต.ค.48	6,918.16	1,058,117.00	524,805.00	525,076.00	66,096.00	591,168.00	40,697.00	20,185.00	19,706.00
8	27 ต.ค.48 - 25 พ.ย.48	8,022.27	1,149,798.00	520,062.00	620,190.00	20,682.00	640,872.00	38,327.00	17,335.00	21,362.00
9	26 พ.ย.48 - 25 ธ.ค.48	7,994.73	1,167,602.00	519,997.00	606,537.00	23,124.00	629,661.00	36,817.00	15,987.00	18,402.00
10	26 ธ.ค.48 - 24 ม.ค.49	7,728.80	1,146,619.00	496,230.00	596,939.00	28,585.00	625,524.00	38,221.00	16,541.00	20,851.00
11	26 ธ.ค.48 - 29 ม.ค.49	6,943.41	1,038,304.00	476,689.00	512,663.00	69,381.00	582,044.00	38,456.00	17,655.00	19,401.00
12	25 ม.ค.49 - 20 ก.พ.49	10,206.98	1,571,415.00	713,161.00	707,904.00	149,941.00	857,845.00	42,471.00	19,275.00	15,597.00
รวม		**83,044.68**	**12,187,342.00**	**5,347,108.00**	**6,221,116.00**	**840,165.00**	**7,033,971.00**			

2.3.5.4 ปัญหาอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานเตาเผาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียง 1.6-1.8 MW น้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้ให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 2.5 MW เนื่องจากขยะชุมชนมีความชื้นสูง

2) สืบเนื่องจากปัญหาความชื้นข้างต้นส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาต่ำกว่า 900 °C มีความเสี่ยงที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น Dioxin Furan เกินกว่าค่าที่กำหนด จึงมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบกำจัด Dioxin ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพอากาศ

3) อัตราการเกิดขยะชุมชนของจังหวัดภูเก็ตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะชุมชนสูงเกิน 7% ส่งผลให้ปริมาณขยะชุมชนที่เก็บขนเข้าสู่เตาเผามากกว่า 400 ตัน/วัน เกินความสามารถของเตาเผาขนาด 250 ตัน/วัน เทศบาลนครภูเก็ตขอรับการสนับสนุนด้านงบประมาณเพื่อเพิ่มความสามารถในการกำจัดขยะชุมชนเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 500 ตัน/วัน และปรับปรุงระบบผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้เพิ่มขึ้นเป็น 5-7 MW ทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดวิกฤตการจัดการขยะชุมชนในจังหวัดภูเก็ต

2.4 ศึกษาทบทวนการศึกษาศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

เนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นผลที่ได้รับจากกระบวนการกำจัดขยะชุมชนโดยการใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่เหมาะสม ความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจึงมีปัจจัยด้านการลงทุนเข้ามาเกี่ยวข้อง

มติคณะรัฐมนตรีวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2548 กำหนดมาตรการเพื่อสนับสนุนการจัดการขยะชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ดังนี้

ให้มีการเก็บรวบรวมและกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการที่ถูกต้องโดยเฉพาะขยะเกิดขึ้นในเทศบาลทั่วประเทศต้องได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ภายในปี 2552 มีการเลือกใช้เทคโนโลยีการกำจัดแบบผสมผสานหลายวิธีที่จะเน้นการนำขยะชุมชนมาใช้ประโยชน์ ทั้งในรูปแบบปุ๋ยอินทรีย์และการแปรรูปเป็นพลังงานและจะส่งเสริมให้เอกชนเข้ามาลงทุนและดำเนินการให้มากขึ้น โดยมีวิธีดำเนินงาน ดังนี้

1) ส่งเสริมและสนับสนุนให้ชุมชนมีการคัดแยกและนำขยะชุมชนไปใช้ประโยชน์ และใช้สินค้าที่มีส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้แล้วหรือใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยให้ส่วนราชการและหน่วยงานของรัฐเป็นหน่วยงานตัวอย่างและให้กระทรวงการคลังพิจารณาให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีแก่ผู้ประกอบการที่นำวัสดุใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าเพื่อลดต้นทุนให้สามารถแข่งขันกับการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติได้

2) กำหนดเป็นแนวนโยบายให้ทุกจังหวัดต้องจัดหาสถานที่กำจัดขยะชุมชนเพื่อรองรับขยะชุมชนในระยะยาว และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดใหญ่ที่ผลิตขยะชุมชนมากกว่าวันละ 100 ตัน ต้องส่งเสริมให้เอกชนเข้ามาดำเนินการลงทุนก่อสร้างและบริหารจัดการระบบแทน โดยรัฐสนับสนุนงบประมาณเฉพาะค่าเดินระบบที่ต้องจ่ายให้กับเอกชนในรูปแบบของงบถดถอยในช่วงระยะ 3-5 ปีแรก

โดยมติคณะรัฐมนตรีข้างต้นสอดคล้องกับการศึกษาศักยภาพของท้องถิ่นที่จะพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานซึ่งได้แบ่งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะชุมชนมากกว่า 100 ตัน/วัน และที่มีปริมาณขยะชุมชนระหว่าง 50-100 ตัน/วัน โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 2.62 และตารางที่ 2.63 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.62 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณขยะชุมชนมากกว่า 100 ตัน/วัน

ลำดับที่	เทศบาล	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณขยะ(ตัน/วัน)
1	เทศบาลนครนนทบุรี	เมือง	นนทบุรี	322.22
2	เทศบาลนครเชียงใหม่	เมือง	เชียงใหม่	265.00
3	เทศบาลนครปากเกร็ด	ปากเกร็ด	นนทบุรี	224.23
4	เมืองพัทยา	บางละมุง	ชลบุรี	210.26
5	เทศบาลนครราชสีมา	เมือง	นครราชสีมา	204.44
6	เทศบาลเมืองอ้อมน้อย	กระทุ่มแบน	สมุทรสาคร	166.09
7	เทศบาลนครขอนแก่น	เมือง	ขอนแก่น	156.25
8	เทศบาลนครนครปฐม	เมือง	นครปฐม	150.00
9	เทศบาลเมืองรังสิต	ธัญบุรี	ปทุมธานี	149.74
10	เทศบาลนครอุดรธานี	เมือง	อุดรธานี	145.00
11	เทศบาลเมืองภูเก็ต	เมือง	ภูเก็ต	143.75
12	เทศบาลนครนครศรีธรรมราช	เมือง	นครศรีธรรมราช	142.15
13	เทศบาลเมืองสระบุรี	เมือง	สระบุรี	140.46
14	เทศบาลตำบลบางปู	เมือง	สมุทรปราการ	138.00
15	เทศบาลนครหาดใหญ่	หาดใหญ่	สงขลา	136.29

ตารางที่ 2.62 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณขยะชุมชนมากกว่า 100 ตัน/วัน (ต่อ)

ลำดับที่	เทศบาล	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณขยะ(ตัน/วัน)
16	เทศบาลเมืองสุราษฎร์ธานี	เมือง	สุราษฎร์ธานี	126.32
17	เทศบาลนครนครสวรรค์	เมือง	นครสวรรค์	112.50
18	เทศบาลตำบลบางเมือง	เมือง	สมุทรปราการ	112.00
19	เทศบาลตำบลแหลมฉบัง	ศรีราชา	ชลบุรี	111.11
20	เทศบาลตำบลเจ้าพระยาสุรศักดิ์	ศรีราชา	ชลบุรี	110.97
21	เทศบาลนครพิษณุโลก	เมือง	พิษณุโลก	107.50
22	เทศบาลนครสมุทรปราการ	เมือง	สมุทรปราการ	106.73
23	เทศบาลตำบลสำโรงใต้	พระประแดง	สมุทรปราการ	105.00
24	เทศบาลนครลำปาง	เมือง	ลำปาง	104.00
25	เทศบาลเมืองลัดหลวง	พระประแดง	สมุทรปราการ	101.00
26	เทศบาลนครนครศรีอยุธยา	พระนครศรีอยุธยา	พระนครศรีอยุธยา	100.00

ตารางที่ 2.63 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณขยะชุมชน 50-100 ตัน/วัน

ลำดับที่	เทศบาล	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณขยะ(ตัน/วัน)
1	เทศบาลนครระยอง	เมือง	ระยอง	91.25
2	เทศบาลตำบลด่านสำโรง	เมือง	สมุทรปราการ	90
3	เทศบาลนครสมุทรปรการ	เมือง	สมุทรสาคร	88.89
4	เทศบาลนครสงขลา	เมือง	สงขลา	88.15
5	เทศบาลตำบลบ้านโขลง	เมือง	ชลบุรี	81.25
6	เทศบาลเมืองชลบุรี	เมือง	ชลบุรี	80.10
7	เทศบาลนครยะลา	เมือง	ยะลา	80.00

ตารางที่ 2.63 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณขยะชุมชน 50-100 ตัน/วัน (ต่อ)

ลำดับที่	เทศบาล	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณขยะ(ตัน/วัน)
8	เทศบาลนครเชียงราย	เมือง	เชียงราย	78.50
9	เทศบาลเมืองคูคต	ลำลูกกา	ปทุมธานี	78.45
10	เทศบาลเมืองแม่สอด	แม่สอด	ตาก	76.25
11	เทศบาลเมืองราชบุรี	เมือง	ราชบุรี	74.80
12	เทศบาลนครอุบลราชธานี	เมือง	อุบลราชธานี	72.00
13	เทศบาลเมืองป่าตอง	กะทู้	ภูเก็ต	68.75
14	เทศบาลนครตรัง	เมือง	ตรัง	68.75
15	เทศบาลตำบลสำโรงเหนือ	เมือง	สมุทรปราการ	68.00
16	เทศบาลเมืองกาญจนบุรี	เมือง	กาญจนบุรี	67.50
17	เทศบาลเมืองฉะเชิงเทรา	เมือง	ฉะเชิงเทรา	66.71
18	เทศบาลเมืองมาบตาพุด	เมือง	ระยอง	66.67
19	เทศบาลเมืองลพบุรี	เมือง	ลพบุรี	65.00
20	เทศบาลเมืองบางกรวย	บางกรวย	นนทบุรี	62.69
21	เทศบาลตำบลคลองหลวง	คลองหลวง	ปทุมธานี	61.35
22	เทศบาลเมืองจันทบุรี	เมือง	จันทบุรี	61.25
23	เทศบาลตำบลบางเสาธง	กิ่งอำเภอบางเสาธง	สมุทรปรการ	60.00
24	เทศบาลตำบลเกาะสมุย	เกาะสมุย	สุราษฎน์ธานี	59.98
25	เทศบาลเมืองหัวหิน	หัวหิน	ประจวบคีรีขันธ์	57.75
26	เทศบาลเมืองบางบัวทอง	บางบัวทอง	นนทบุรี	56.25
27	เทศบาลเมืองแสนสุข	เมือง	ชลบุรี	55.56
28	เทศบาลเมืองสิงห์บุรี	เมือง	สิงห์บุรี	53.35

ตารางที่ 2.63 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณขยะชุมชน 50-100 ตัน/วัน (ต่อ)

ลำดับที่	เทศบาล	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณขยะ(ตัน/วัน)
29	เทศบาลเมืองท่าโขลง	คลองหลวง	ปทุมธานี	53.33
30	เทศบาลเมืองปทุมธานี	เมือง	ปทุมธานี	53.00
31	เทศบาลเมืองเลย	เมือง	เลย	52.50
32	เทศบาลมืองกำแพงเพชร	เมือง	กำแพลเพชร	50.00
33	เทศบาลเมืองบ้านบึง	บ้านบึง	ชลบุรี	50.00
34	เทศบาลเมืองชุมพร	เมือง	ชุมพร	50.00
35	เทศบาลเมืองสุไหงโกลก	สุไหงโกลก	นราธิวาส	50.00
36	เทศบาลเมืองทุ่งสง	ทุ่งสง	นครศรีธรรมราช	50.00

ที่มา: กรมพัฒนาส่งเสริมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, โครงการศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน 2547

นอกจากนี้ ในรายงานฉบับเดียวกันยังได้ศึกษาพิจารณาศักยภาพในการนำขยะชุมชนมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ ที่มีในประเทศ ดังนี้

1) ศักยภาพจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน

ในการกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบ ทำให้สถานที่ฝังกลบที่มีศักยภาพในการนำก๊าซมาใช้ประโยชน์ เช่นการผลิตกระแสไฟฟ้า จะต้องมีหลักเกณฑ์ ดังนี้ (Zimmerman et al, 1984)

- ปริมาณสะสมขยะชุมชนที่ถูกฝังกลบมีไม่น้อยกว่า 2 ล้านตัน
- ปริมาณขยะชุมชนที่นำมาฝังกลบในแต่ละวันมีไม่น้อยกว่าวันละ 150 ตัน/วัน
- พื้นที่ฝังกลบควรมีมากเพียงพอ
- ความสูงของชั้นขยะชุมชนถูกฝังกลบมากกว่า 12 เมตร

แม้ว่าในปัจจุบันสถานที่ฝังกลบที่ได้รับงบประมาณในการก่อสร้างให้ถูกหลักสุขาภิบาลในประเทศไทยมีมากกว่า 70 แห่ง แต่ก็ไม่มีที่ใดเลยที่จะเข้าตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ยกเว้นสถานที่ฝังกลบของกรุงเทพมหานคร แต่เนื่องจากไม่ได้ก่อสร้างเพื่อให้สามารถรวบรวมก๊าซตั้งแต่เริ่มต้นจึงไม่สามารถนำก๊าซมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งได้นำเสนอแล้ว

อย่างไรก็ตาม หากจะพัฒนาสถานที่ฝังกลบให้สามารถรวบรวมก๊าซเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยพิจารณาจากท้องถิ่นที่สามารถรวบรวมขยะชุมชนเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบมากกว่า 150 ตัน/วัน จะมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการดัง ตารางที่ 2.64 และ ตารางที่ 2.65

ตารางที่ 2.64 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพที่จะนำก๊าซมาผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบัน ปริมาณขยะชุมชนสะสมที่ถูกฝังกลบมากกว่า 1 ล้านตันและมีขยะชุมชนเข้าระบบมากกว่า 150 ตัน/วัน

สถานที่ฝังกลบ	ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า (MW)	ระยะเวลาโครงการ/ (ปีที่คาดว่าจะดำเนินการ)	ความเหมาะสมในการจัดทำโครงการ
กรุงเทพฯ-กำแพงแสน	10	15/ (2004-2018)	ปานกลาง
กรุงเทพฯ-ราชาเทวะ	4	16/ (2004-2019)	สูง
นนทบุรี-ไทรน้อย	0.5	23/(2004-2026)	ต่ำ

ตารางที่ 2.65 ท้องถิ่นที่มีศักยภาพที่จะนำก๊าซมาผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคต มีขยะชุมชนเข้าระบบมากกว่า 150 ตัน/วัน

สถานที่ฝังกลบ	ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า (MW)	ระยะเวลาโครงการ/ (ปีที่คาดว่าจะดำเนินการ)	ความเหมาะสมในการจัดทำโครงการ
นครราชสีมา	0.5	12/ (2007-2019)	ต่ำ
นครปฐม	0.4	23/ (2007-2030)	ต่ำ
ปทุมธานี	0.4	10/ (2007-2017)	ต่ำ
หาดใหญ่	0.4	16/ (2007-2023)	ต่ำ
พิษณุโลก	0.2	35/ (2007-2042)	ต่ำ
กำแพงเพชร	0.2	42/ (2007-2049)	ต่ำ
สงขลา	0.2	50/ (2007-2057)	ปานกลาง
เชียงราย	0.2	26/ (2007-2033)	สูง
ชลบุรี- แสนสุข	0.3	18/ (2010-2027)	-
ยะลา	0.2	15/ (2007-2021)	ต่ำ
บุรีรัมย์	0.2	11/ (2007-2021)	ปานกลาง
อุดรธานี	0.2	21/ (2009-2029)	สูง
เพชรบูรณ์	0.2	11/ (2009-2019)	สูง
สกลนคร	0.2	11/ (2009-2019)	ปานกลาง

หมายเหตุ: ปรับปรุงจากการประเมินศักยภาพก๊าซแหล่งฝังกลบขยะชุมชนในประเทศไทย

2) ศักยภาพจากเตาเผาขยะชุมชน

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากการเผาขยะชุมชนจำเป็นต้องใช้เตาเผาที่มีประสิทธิภาพซึ่งมีต้นทุนในการลงทุนและบริหารดำเนินการค่อนข้างสูง ดังนั้น ปริมาณขยะชุมชนที่จะนำเข้าเตาเผาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าไม่ควรน้อยกว่า 100 ตัน/วัน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องมีความสามารถด้านการเงินในการบริหารดำเนินการหรือการจัดจ้างเอกชนดำเนินการ

3) ศักยภาพจากการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยวิธีการหมักแบบไม่ใช้อากาศต้องการเตรียมขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด เพื่อลดต้นทุนในการลงทุนและการบริหารดำเนินการ และความเสี่ยงที่ระบบหมักจะประสบปัญหาจากขยะประเภทอื่นๆที่ปะปนมา ดังนั้น การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในพื้นที่จะต้องผสมผสานกับการปรับปรุงระบบการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

จากผลการดำเนินงานของโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง พอจะสรุปได้ว่า ขนาดของโครงการที่เหมาะสมสำหรับท้องถิ่นขนาดใหญ่ ยกเว้นกรุงเทพมหานคร ควรเริ่มจากขนาดที่สามารถรองรับขยะอินทรีย์ได้ประมาณ 60 ตัน/วัน

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัย โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ดำเนินงานเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดพื้นที่และการเก็บรวบรวมข้อมูล
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดพื้นที่และการเก็บรวบรวมข้อมูล

การกำหนดพื้นที่เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้พิจารณาจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการจัดการขยะชุมชน 6 โครงการ นอกจากนั้นเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการสอบถามและสืบค้นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และหน่วยงานเอกชนที่ดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยตรงรวมถึงเอกชนที่เป็นผู้จำหน่ายเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลจากการเก็บรวบรวมเพื่อใช้ประกอบการศึกษาวิจัย ประกอบด้วย

1. ปริมาณ และองค์ประกอบขยะชุมชน
2. ระบบการจัดการขยะชุมชน
3. เทคโนโลยีการแปรรูปขยะชุมชนเป็นกระแสไฟฟ้า
4. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดำเนินการ การบำรุงรักษา และผลตอบแทนระบบ เป็นต้น

รายละเอียดของโครงการและองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้ง 6 แห่ง ได้แก่

1. โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง
2. โครงการกำจัดขยะโดยการใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ กิ่งอำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด ดำเนินการโดยองค์การบริหารจัดการพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (อพท.)
3. โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ดำเนินการโดยศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรม

พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สนับสนุนโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

4. โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย ราชาเทวะ สมุทรปราการ ดำเนินการโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ไพโรจน์สมพงษ์พาณิชย์
5. โครงการเตาเผาขยะมูลฝอยและผลิตพลังงาน จังหวัดภูเก็ต ดำเนินการโดยเทศบาลนครภูเก็ต
6. โครงการนำร่องศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ชลบุรี ดำเนินการโดยองค์การบริหารส่วนจังหวัด ชลบุรี

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการจัดการขยะชุมชน ดังนั้น ความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการจึงมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาโครงการด้านการจัดการขยะชุมชนที่ต้องอาศัยหลักการและเครื่องมือในการวิเคราะห์ดังนี้

3.2.1 หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะชุมชน (Waste Management Heirachy) เป็นหลักการสำคัญในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการด้านการจัดการขยะชุมชนและเป็นหลักการที่ใช้ในการจัดการขยะชุมชนทั่วโลก ดังนั้น การพัฒนาโครงการด้านการจัดการขยะชุมชนและการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนควรจะต้องเป็นไปตามหลักการดังกล่าวเพื่อให้โครงการมีความเป็นไปได้และยั่งยืน

หลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะชุมชนประกอบด้วย

3.2.1.1 การลดการเกิดขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด (Source Reduction) มีความสำคัญเป็นลำดับแรกของกระบวนการจัดการขยะชุมชน เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณและมลพิษของขยะชุมชน ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ การขนส่งและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การลดขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดสามารถทำได้โดยการออกแบบ การผลิตที่มีบรรจุภัณฑ์เท่าที่จำเป็นและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

3.2.1.2 การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) มีความสำคัญเป็นลำดับที่ 2 เกี่ยวข้องกับการคัดแยกและจัดเก็บขยะชุมชน การนำขยะประเภทต่างๆกลับมาใช้ หรือนำมาแปรรูปใหม่ ดังนั้น การนำกลับมาใช้ใหม่จึงช่วยลดอุปสงค์ของการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและช่วยลดปริมาณขยะที่จะต้องนำไปกำจัดโดยเฉพาะการฝังกลบ

3.2.1.3 การแปรรูปขยะชุมชน (Waste Transformation) เป็นลำดับความสำคัญที่ 3 ที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปขยะชุมชนจากลักษณะสมบัติทางเคมี กายภาพและด้านชีวภาพ ซึ่งช่วยให้

สามารถใช้ประโยชน์จากขยะในรูปแบบต่างๆ เช่น การผลิตปุ๋ยอินทรีย์และการผลิตพลังงานจากกระบวนการทางความร้อนหรือด้วยวิธีชีวภาพ การแปรรูปเพื่อนำขยะชุมชนมาใช้ประโยชน์นี้ทำให้ปริมาณขยะที่จะต้องกำจัดด้วยการฝังกลบลดน้อยลง

3.2.1.4 การฝังกลบ (Landfilling) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการกำจัดขยะชุมชนโดยการฝังกลบขยะในส่วนที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ไม่ว่าจากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่หรือจากกระบวนการแปรรูป การฝังกลบถูกจัดเป็นลำดับสุดท้ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้พื้นที่ที่จะต้องใช้ให้น้อยที่สุดเพื่อกำจัดส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจะต้องคำนึงถึงแนวโน้มที่เกิดจากการใช้หลักการลำดับความสำคัญ เช่น ปริมาณขยะชุมชนที่ลดลงเนื่องจากการลดและคัดแยกขยะจากแหล่งกำเนิด หรือปริมาณขยะที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงเนื่องจากนโยบายของรัฐในการสนับสนุนกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการใช้มาตรการทางเศรษฐศาสตร์เพื่อลดปริมาณขยะจากบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

3.2.2 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility Study)

สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งประเทศญี่ปุ่น (JBIC) ได้นำเสนอหลักการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการไว้ดังนี้

- การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์
- การประเมินด้านการเงิน
- การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลกระทบด้านสังคม

สำหรับงานวิจัยนี้ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นผลที่ได้จากกระบวนการจัดการขยะชุมชนที่จะต้องดำเนินการตามมาตรฐานการควบคุมมลพิษเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์จากการใช้วิธีต่างๆในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมบนสมมติฐานเดียวกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จะเน้นถึงการวิเคราะห์ด้านการเงินเป็นหลักโดยเฉพาะในกรณีที่เอกชนมีส่วนร่วมในการลงทุนและการบริหารดำเนินการ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้านการเงินของโครงการจะใช้วิธีเปรียบเทียบผลประโยชน์กับต้นทุน (Benefit- Cost Analysis) เป็นการพิจารณาอัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return-FIRR) โดยค่า FIRR ควรจะอยู่ในระดับสูง เช่น สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยในตลาด เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าโครงการมีความเป็นไปได้และพึ่งตัวเองได้ในด้านการเงิน

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) เป็นการหาความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการ เพื่อชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่

โครงการใดที่ให้ค่า NPV มากกว่า 0 หมายถึงโครงการนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุน แต่ถ้า NPV มีค่าต่ำกว่า 0 หรือเป็นลบ แสดงว่าโครงการลงทุนนั้นไม่คุ้มค่า

NPV = มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ - มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการ ถ้า B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

$$\textbf{B/C ratio} = \frac{\textbf{มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์}}{\textbf{มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน}}$$

อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงินของโครงการ (FIRR) เป็นการหาอัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนและค่าใช้จ่ายเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ นั่นคืออัตราคิดลดที่ทำให้ B/C ratio = 1 หรือ NPV = 0 อัตราคิดลดนี้เรียกว่า “อัตราตอบแทนของโครงการ (IRR) เป็นอัตราที่แสดงถึงความสามารถในการก่อให้เกิดรายได้โดยเฉลี่ยจากการลงทุนตลอดอายุโครงการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{\left(1+r\right)^{t}} = \sum_{t=1}^{n} \frac{Ct}{\left(1+r\right)^{t}}$$

เมื่อ

r = อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ย

n = จำนวนปีทั้งหมดของโครงการ

t = ปีที่วิเคราะห์ 1, 2… n

Bt = ผลประโยชน์ที่ได้ในปีที่ t

Ct = ค่าใช้จ่ายหรือเงินลงทุนในปีที่ t

$\sum$ = ผลรวมของตัวแปรในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นอกเหนือจากการพิจารณาประสบการณ์การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจากโครงการต่างๆในข้อ 3.1 แล้ว ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพของขยะชุมชนทั่วประเทศเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยเริ่มต้นจากข้อเท็จจริงที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องมีบทบาทในฐานะผู้รับผิดชอบหรือผู้พัฒนาโครงการตามกฎหมาย โดยการวิเคราะห์แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- การวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจากปริมาณและองค์ประกอบขยะชุมชนทั่วประเทศ ด้วยวิธีการและเทคโนโลยีต่างๆ
- ความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในประเทศโดยพิจารณาจากประสบการณ์ของโครงการต่างๆ และความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการโดยการลงทุนของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและของเอกชน รวมถึงขีดความสามารถด้านการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
- ความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยใช้วิธีพิจารณาอัตราผลตอบแทนภายใน (Financial Internal Rate of Return) ของโครงการ กำหนดตัวชี้วัดในการพิจารณาความเป็นไปได้ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
- ข้อเสนอด้านนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

4.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

การศึกษาศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นการประเมินเบื้องต้นในกรณีที่นำเอาปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาแปรรูปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการแปรรูปต่างๆโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการ เช่น ขนาดของโครงการ ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้ทางการเงินหรือการยอมรับของประชาชน

ศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าพิจารณาจากพลังงานที่อาจผลิตได้โดยใช้ปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้ปริมาณขยะชุมชนทั่วประเทศจากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษเมื่อปี พ.ศ. 2547 ซึ่งมีปริมาณ 39,956 ตัน/วัน และใช้ข้อมูลองค์ประกอบของขยะชุมชนเฉลี่ยจากรายงานโครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบขยะชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ 2547)

องค์ประกอบทางกายภาพ	เหนือ	กลาง	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ใต้	เฉลี่ย
ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้	59.71	62.56	67.53	57.65	61.43
กิ่งไม้ ใบไม้	0.96	0.60	0.51	0.25	0.62
ขยะรีไซเคิล	24.06	20.43	20.21	26.73	22.61
ขยะอันตราย	0.05	0.34	0.14	0.19	0.22
ขยะอื่นๆ	15.23	16.34	11.61	15.18	15.19

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือพลังงานจากขยะชุมชน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ กระบวนการที่ใช้ความร้อน (Thermal Conversion Process) กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) และกระบวนการทางกายภาพ (Physical Conversion Process) ซึ่งกระบวนการแต่ละประเภทจะให้ศักยภาพในการผลิตพลังงานที่แตกต่างกัน

4.1.1 กระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process)

การนำขยะชุมชนมาผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางความร้อนหมายถึง การแปรคุณสมบัติทางกายภาพของขยะชุมชนให้เป็นพลังงานด้วยความร้อนซึ่งได้แก่ การเผา (Incineration) วิธีก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) และวิธี Plasma Arc พลังงานที่ได้ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของขยะชุมชนได้แก่ ค่าความร้อน (Heat Value) และความชื้นของขยะชุมชน

การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heat Value) ของขยะชุมชนสามารถทำได้ในห้องทดลองด้วยวิธี Bomb Calorimeter นอกจากนั้นยังหาค่าได้โดยใช้สูตรของดูลอง (Modified Dulong Formula) เป็นการวิเคราะห์จากคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะชุมชนซึ่งมีข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

สูตรการคำนวณของดูลอง (Modified Dulong Formula) แสดงดังสมการต่อไปนี้

ค่าความร้อน Btu/lb = $145C+610(H_2+O_2/8)+40S+10N$

โดยที่ C คือ คาร์บอน, ร้อยละโดยน้ำหนัก

H_2 คือ ไฮโดรเจน, ร้อยละโดยน้ำหนัก

O_2 คือ ออกซิเจน, ร้อยละโดยน้ำหนัก

S คือ ซัลเฟอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก

N คือ ไนโตรเจน, ร้อยละโดยน้ำหนัก

จากการคำนวณค่าความร้อนโดยใช้สูตรของดูลองเมื่อองค์ประกอบเฉลี่ยของขยะชุมชนทั่วประเทศเป็นไปตามข้อมูลในตารางที่ 4.1 จะได้ค่าความร้อนเท่ากับ 1,633 Kcal/kg เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบด้วยวิธี Bomb Calorimeter ซึ่งจัดทำโดยกรมควบคุมมลพิษ

ในปี 2548 มีขยะชุมชนเกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณ 39,956 ตัน/วัน หากนำเอาขยะชุมชนทั้งหมดมาแปรรูปเป็นพลังงานจะได้พลังงานเท่ากับ 27.7 ล้าน MWh/ปี หมายความว่าปริมาณขยะชุมชนทั่วประเทศมีศักยภาพที่จะแปรรูปเป็นพลังงานความร้อนได้ประมาณ 3,295 MW หรือเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 330-1,150 MW เมื่อมีประสิทธิภาพในการแปรรูป (Conversion Efficiency) 10-35%

กระบวนการทางความร้อนด้วยวิธีเตาเผา (Incinerator) เป็นที่รู้จักและนิยมใช้มากที่สุด ไม่ซับซ้อนยุ่งยากแต่มีประสิทธิภาพในการแปรรูปเป็นกระแสไฟฟ้าเพียง 10-25% ขณะที่วิธีก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) มีประสิทธิภาพสูงขึ้นประมาณ 25-40% ส่วนความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการนำวิธีทั้งสองไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจะได้วิเคราะห์เปรียบเทียบในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ค่าความร้อนจากองค์ประกอบของขยะชุมชนโดยสูตรของ Dulong

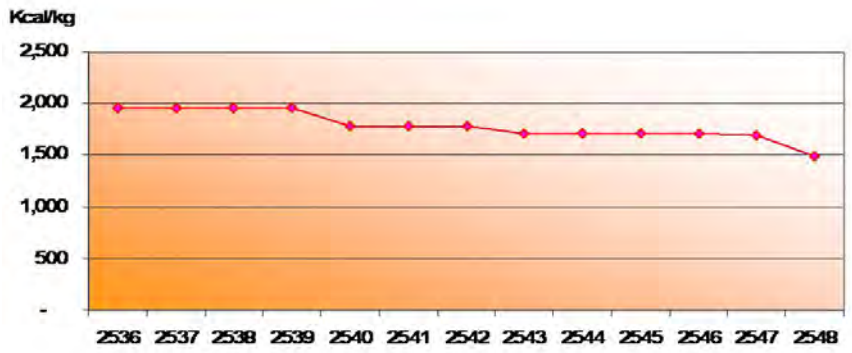
องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก (dry basis)					
	Carbon	**Hydrogen**	**Oxygen**	**Nitrogen**	**Sulfur**	**Ash**
เศษอาหาร	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
กระดาษ	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
กระดาษลัง	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
พลาสติก	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
เศษผ้า	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
เศษยาง	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
เศษหญ้า,ใบไม้	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
เศษไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
แก้ว	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
โลหะ	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5
อื่นๆ	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

กรณีศึกษา : ประเทศไทยมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยกระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process) โดยใช้เตาเผาเพียงแห่งเดียว คือ เตาเผาขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต ที่ได้รับการออกแบบให้รองรับการกำจัดขยะชุมชนวันละ 250 ตันและแปรรูปพลังงานความร้อนจากการเผาเป็นกระแสไฟฟ้าได้ 2.5 MW เมื่อค่าความร้อนของขยะชุมชนประมาณ 1,800 - 2,000 Kcal/kg (ข้อมูลในปี 2540)

ภาพที่ 4.1 เตาเผาขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ตขนาดรองรับปริมาณขยะชุมชน 250 ตัน/วัน ออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 2.5 MW

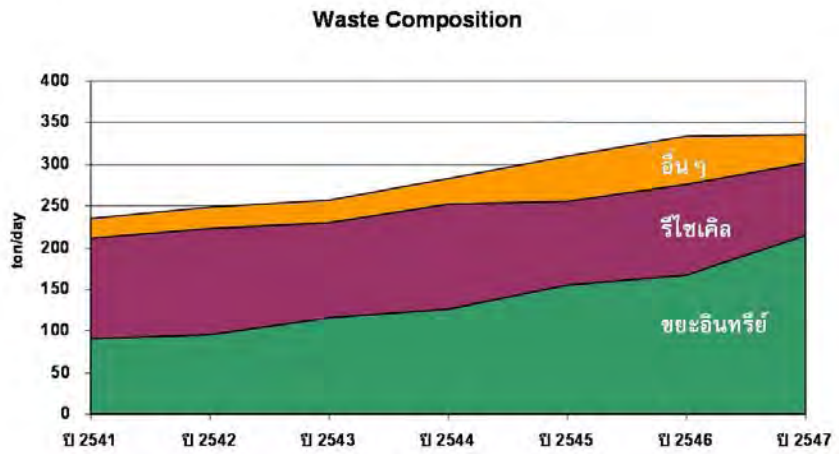
ปัจจุบัน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 18 แห่งในจังหวัดภูเก็ตต่างเก็บขนขยะชุมชนในพื้นที่แล้วนำไปกำจัดด้วยเตาเผาเพียงแห่งเดียวของจังหวัด ปริมาณขยะชุมชนที่นำเข้าสู่เตาเผามากกว่า 450 ตัน/วัน เกินขีดความสามารถที่เตาเผาจะรองรับได้ ขยะชุมชนบางส่วนจึงถูกทิ้งไว้ในพื้นที่ฝังกลบที่เตรียมไว้สำหรับฝังกลบเถ้าจากการเผา

แม้ว่าเตาเผาจะเดินระบบเต็มที่โดยมีขยะชุมชนป้อนเกิน 250 ตัน/วัน แต่ปรากฏว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้กลับน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ 2.5 MW โดยผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียง 1.60 MW สาเหตุสำคัญก็คือการที่ค่าความร้อนของขยะชุมชนในจังหวัดภูเก็ตลดลง ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 4.2 ซึ่งปัจจุบันค่าความร้อนของขยะชุมชนในบริเวณหลุมรองรับขยะ (Waste Bunker) เหลือเพียง 1,400 -1,500 kcal/kg



ภาพที่ 4.2 ค่าความร้อนที่ลดลงเนื่องจากสัดส่วนของขยะอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

ความชื้นที่เพิ่มขึ้นและค่าความร้อนที่ลดลงไม่เพียงได้ทำให้ประสิทธิภาพในการแปรรูปขยะชุมชนเป็นพลังงานลดลงเท่านั้น แต่ยังมีผลให้เตาเผาเกิดการชำรุดเสื่อมโทรมเร็วกว่าที่คาดการณ์ไว้ จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารายปีและการซ่อมครั้งใหญ่เพิ่มสูงขึ้น

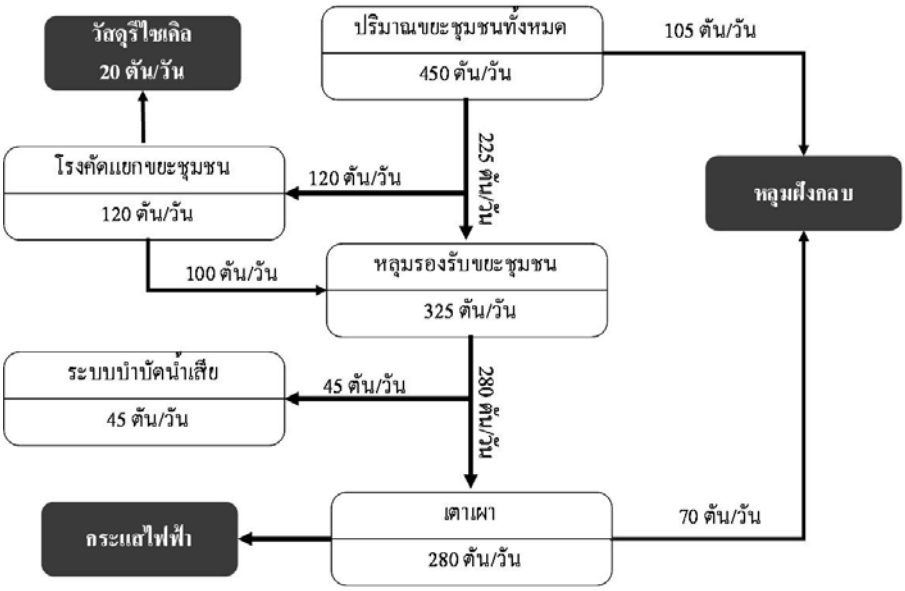


ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต

สาเหตุของการที่ค่าความร้อนของขยะชุมชนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตลดลงเกิดจากสัดส่วนของขยะอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.3 นอกจากนั้นการเลือกใช้ถังรองรับและวิธีจัดเก็บขยะชุมชนที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีปริมาณน้ำฝนเข้าไปปะปนอยู่ในขยะชุมชนจากที่ถังรองรับไม่มีฝาปิด และรถจัดเก็บไม่ได้มาตรฐานทำให้มีน้ำมากขึ้นนอกจากความชื้นจากขยะอินทรีย์ตามปกติ ซึ่งมีผลให้ค่าความร้อนของขยะชุมชนลดลงอีก

ภาพที่ 4.4 ถังรองรับขยะที่ไม่เหมาะสม และที่เหมาะสมสำหรับระบบกำจัดแบบเตาเผา

ตัวอย่างการที่ปริมาณน้ำในลักษณะของน้ำอิสระ(Free Water) ทำให้ค่าความร้อนของขยะชุมชนที่ต่ำอยู่แล้วลดลงอีก เช่น ในกรณี เตาเผาขยะชุมชนภูเก็ต ขยะชุมชนมีสัดส่วนของขยะอินทรีย์ถึง 55% (ภาพที่ 4.5) ทำให้ค่าความร้อนลดลงเหลือ 1,484 Kcal/kg กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงลดลงเหลือประมาณ 1.8 MW แต่ในกระบวนการเก็บขนโดยเฉพาะช่วงฤดูฝนมีน้ำฝนปะปนมากับขยะชุมชนโดยเฉพาะจากการที่ถังรองรับไม่มีฝาปิด แม้ว่าการพักขยะในหลุมขยะจะช่วยให้น้ำบางส่วนไหลออกไปบ้าง แต่ยังมีน้ำปะปนอยู่อีกประมาณ 10-15% มีผลให้ค่าความร้อนของขยะชุมชนในช่วงเวลานั้นลดลงอีกเหลือเพียง 1,275-1,350 Kcal/kg จนทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงเหลือ 1.6 MW สอดคล้องกับข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.5 สมดุลมวลของการกำจัดขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ต

จากการศึกษารายละเอียดกรณีเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต พบว่าการที่ค่าความชื้นของขยะชุมชนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตสูงขึ้นเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. การมีส่วนร่วมประชาชนและสถานประกอบการในการคัดแยกและใช้ประโยชน์วัสดุรีไซเคิล และการขยายตัวของตลาดวัสดุรีไซเคิล มีผลให้ขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ถูกคัดแยกจากต้นทาง โดยเฉพาะกระดาษ และพลาสติกซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบที่มีค่าความร้อนสูงของขยะชุมชน

2. การใช้ประโยชน์จากขยะอินทรีย์ด้วยการนำไปเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะสุกรมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการขยายตัวของเมืองทำให้พื้นที่ของฟาร์มสุกรหลายแห่งถูกปิดและเปลี่ยนเป็นโครงการที่พักอาศัย เศษอาหารปริมาณมากจากชุมชนและสถานประกอบการจึงย้อนกลับมาปะปนอยู่ในขยะชุมชนจนทำให้ความชื้นเฉลี่ยของขยะชุมชนสูงขึ้นและค่าความร้อนลดลง

สำหรับปัญหาที่เกิดจากปริมาณน้ำอิสระ(Free Water) ปะปนในขยะชุมชนมากเกินไปสามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับปรุงระบบเก็บขนและการใช้ถังรองรับที่เหมาะสม เช่นการใช้ถังรองรับที่มีฝาปิดป้องกันน้ำฝน และใช้รถเก็บขนที่มีระบบบีบอัดเพื่อให้น้ำแยกตัวออกในระหว่างการเก็บขน ก่อนที่จะแยกตัวออกอีกครั้งในหลุมรองรับขยะ (Waste Bunker)

4.1.2 กระบวนการทางชีวเคมี (Bio-Chemical Process)

กระบวนการชีวเคมีเป็นการแปรรูปอินทรีย์สารซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของขยะชุมชนให้เป็นก๊าซชีวภาพ หรือก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนประมาณ 60: 40 ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิงสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Biogas Generator)

กระบวนการชีวเคมีที่รู้จักกันทั่วไปมี 2 ระบบได้แก่ ระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และการใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas) ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีการดำเนินงานทั้งสองระบบ

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยการใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขึ้นกับปริมาณขยะชุมชนที่สะสมในหลุมฝังกลบระยะเวลาของหลุมฝังกลบ

A Guideline for Methane Mitigation Projects, Gas-to Energy at Landfills and Open Dumps, U.S.EPA. , November, 1996 นำเสนอค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซที่เกิดจากสถานที่ฝังกลบ ซึ่งแต่ละแห่งจะต้องมีขยะชุมชนสะสมกันไม่น้อยกว่า 500,000 ตันและใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 10 ปี ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การคาดการณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพจากพื้นที่ฝังกลบ

ปริมาณขยะชุมชนในพื้นที่ฝังกลบ(ล้านตัน)	ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการคาดการณ์ (ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี)		
	ค่าเฉลี่ย	First Order Decay model	Waste In Place Model
1.0	6	7-11	9-11
1.5	9	10-16	11-13
2.0	12	14-21	12-15
3.0	18	21-32	15-20

เนื่องจากเงื่อนไขของปฏิกิริยาชีวเคมีทำให้สถานที่ฝังกลบที่สามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพได้ต้องมีปริมาณขยะชุมชนเข้ามาฝังกลบไม่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน ดังนั้น หากระบบกำจัดขยะชุมชนของประเทศเป็นการฝังกลบที่ถูกต้องทั้งหมด และมีการออกแบบให้สามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในอนาคต องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำเป็นต้องรวมกันเป็นกลุ่ม (Cluster) เพื่อให้มีปริมาณขยะชมชนเข้าสู่ระบบฝังกลบในแต่ละแห่ง ไม่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน โดยแต่ละแห่งจะมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นประมาณ 9-12 ลบ.ม. หรือปริมาณรวม 1,800-2,400 ลบ.ม.ต่อปี ซึ่งสามารถแปรเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 350-500 MW

กรณีของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้เป็นการแปรรูปสารอินทรีย์ในขยะชุมชนให้เป็นก๊าซชีวภาพเช่นเดียวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ แต่โดยระบบนี้สามารถควบคุมสภาวะการแปรรูปเช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดภายในถังหมัก และปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ทำให้การหมักและการเกิดก๊าซชีวภาพใช้ระยะเวลาเพียงประมาณ 20-30 วัน และก๊าซชีวภาพที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่าก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบ

ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นกับปริมาณอินทรีย์สารในขยะชุมชนซึ่งจากผลการสำรวจวิเคราะห์องค์ประกอบขยะชุมชนทั่วประเทศในปี 2547 พบว่าสารอินทรีย์มีสัดส่วนมากกว่า 60% ของปริมาณขยะชุมชนรวมโดยน้ำหนัก ดังนั้นปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นทั่วประเทศในแต่ละวันจะมีองค์ประกอบของขยะอินทรีย์ที่นำมาแปรรูปเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 24,000 ตัน/วัน หรือ 8.7 ล้านตัน/ปี ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนประมาณ 75-100 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำหนักขยะอินทรีย์ ดังนั้นศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนทั่วประเทศจะเป็น 650-876 ล้านลบ.ม./ปี หรือมีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 200-260 MW

กรณีศึกษา: ระบบก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบในพื้นที่ฝังกลบราชาเทวะ จังหวัดสมุทรปราการเป็นพื้นที่ฝังกลบของเอกชนที่ใช้รองรับขยะชุมชนจากกรุงเทพมหานคร มีขนาดพื้นที่ 180 ไร่ เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2540 ในส่วนที่ผลิตกระแสไฟฟ้า เอกชนได้ติดตั้งระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพในพื้นที่ฝังกลบระยะแรก 50 ไร่ซึ่งได้ฝังกลบขยะชุมชนสะสมไว้มากกว่า3 ล้านตัน และติดตั้งเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาด 1 MW ประเมินว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นประมาณ 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตร และจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องไปอีก 15 ปี ปัจจุบันสามารถเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 7.7 ล้านหน่วย/ปี (หน่วย หมายถึง KW-ชั่วโมง)

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซที่รวบรวมได้ 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตรน้อยกว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ควรจะได้ประมาณ 18 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังนั้นหากวางท่อรวบรวมก๊าซเพิ่มเติมจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากสถานที่ฝังกลบนี้ไม่ได้ออกแบบเพื่อการรวบรวมก๊าซชีวภาพตั้งแต่เริ่มแรก ทำให้ไม่สามารถประมาณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้

กรณีศึกษา: ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับขยะชุมชน ภาพที่ 4.6 พัฒนาโครงการ โดยมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานและได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณสำหรับการก่อสร้างจากกระทรวงพลังงานด้วยความร่วมมือจากเทศบาลนครระยอง ระบบดังกล่าวถูกออกแบบเพื่อรองรับขยะอินทรีย์ในพื้นที่เทศบาลนครระยองมีขนาด 60 ตัน/วัน ปัจจุบันมีขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหารป้อนเข้าสู่ระบบเพียง 25%-30% ทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้

เฉลี่ย 400,000 KW-ชั่วโมงต่อปี เท่ากับมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 80 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำหนักขยะอินทรีย์ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการออกแบบ

การนำระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้ในการกำจัดขยะชุมชนนอกจากจะได้ผลผลิตด้านพลังงานแล้ว กากที่เหลือจากการย่อยสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ด้วย แต่ระบบนี้ใช้ได้เฉพาะขยะอินทรีย์เท่านั้น ดังนั้น การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดจึงมีความสำคัญ

ภาพที่ 4.6 ระบบระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเทศบาลนครระยอง รองรับขยะอินทรีย์ได้ 60 ตัน/วัน ออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 0.625 MW

4.1.3 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Conversion Process)

กระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel-RDF) เป็นการนำเอาองค์ประกอบของขยะที่เหมาะสำหรับการเผาไหม้ (Combustible Composition) มาปรับคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาปูนซีเมนต์ เตาหม้อไอน้ำ (Stream Boiler) หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งสัดส่วนของขยะชุมชนที่เหมาะสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงขยะมีประมาณ 30% ของปริมาณขยะชุมชนทั้งหมด

การประเมินศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะชุมชนต้องพิจารณาจากปัจจัยหลายด้านเนื่องจากเป็นการใช้องค์ประกอบที่มีคุณสมบัติเดียวกันกับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางความร้อนโดยตรง ในพื้นที่ที่สามารถพัฒนาระบบเตาเผาผลิตกระแสไฟฟ้าจะป้อนขยะชุมชนเข้าสู่ระบบเผาได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงขยะก่อน แต่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะชุมชนไม่เพียงพอที่จะมีระบบเตาเผาเองอาจเลือกผลิตเชื้อเพลิงขยะเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งที่ต้องขนขยะชุมชนไปที่เตาเผา ดังนั้น การผลิตเชื้อเพลิงขยะจึงเป็นทางเลือก

หนึ่งสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ต้องการใช้ประโยชน์จากขยะชุมชนส่วนที่เผาไหม้ได้ โดยไม่ต้องลงทุนระบบเตาเผาที่มีต้นทุนสูง

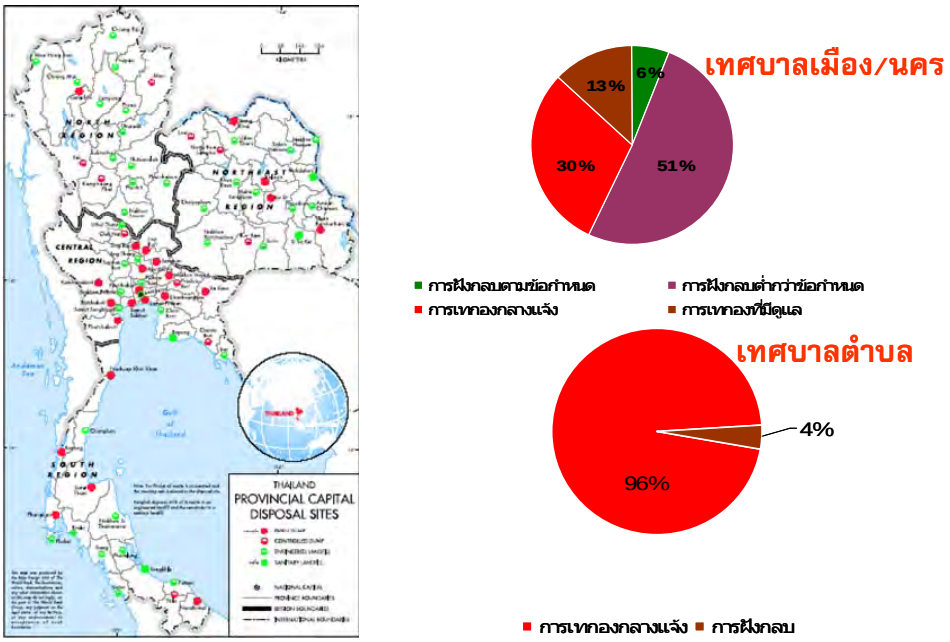
4.2 กระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

จากการพิจารณากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจะเห็นได้ว่าแต่ละกระบวนการมีความเหมาะสม ให้ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้ารวมถึงมีจุดอ่อนที่แตกต่างกัน เช่น กระบวนการทางความร้อนมีความอ่อนไหวต่อความชื้นและค่าความร้อนของขยะชุมชน ส่วนกระบวนการทางชีวเคมีเหมาะกับการกำจัดขยะอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขยะชุมชนรวมเท่านั้น

การจัดการขยะชุมชนจึงได้พัฒนาแนวคิดการผสมผสาน (Integrated Systems) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด แต่การผสมผสานให้เกิดประสิทธิภาพได้ก็ต่อเมื่อการจัดการขยะชุมชนต้องเป็นไปตามลำดับความสำคัญของการจัดการขยะชุมชนหรือ Waste Management Hierarchy โดยต้องมีการแยกขยะ แล้วนำขยะประเภทต่างๆไปแปรรูปและผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับขยะประเภทนั้นๆ การแยกขยะชุมชนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ถือปฏิบัติกันทั่วไปในหลายประเทศโดยเฉพาะประเทศที่ประสบความสำเร็จในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนก็คือการแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดด้วยการมีส่วนร่วมของประชาชนไม่ใช่การแยกด้วยเครื่องจักรในระบบโรงงาน

สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบแม้จะมีศักยภาพไม่น้อย แต่ในประเทศไทยยังคงประสบปัญหาประชาชนต่อต้านคัดค้านการก่อสร้างและดำเนินการกำจัดขยะชุมชนแบบฝังกลบ สาเหตุเนื่องมาจากองค์กรปกครองสวนท้องถิ่นส่วนใหญ่ยังไม่สามารถบริหารดำเนินการสถานที่ฝังกลบให้เป็นไปตามมาตรฐานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชุมชน (ภาพที่ 4.7)

จากรายงานการสำรวจระบบกำจัดขยะชุมชนในประเทศไทยของธนาคารโลกพบว่าสถานที่ฝังกลบทั่วประเทศกว่า 100 แห่ง มีเพียง 6% ที่มีการบริหารดำเนินการในเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้โอกาสที่จะรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเป็นไปได้น้อยมาก

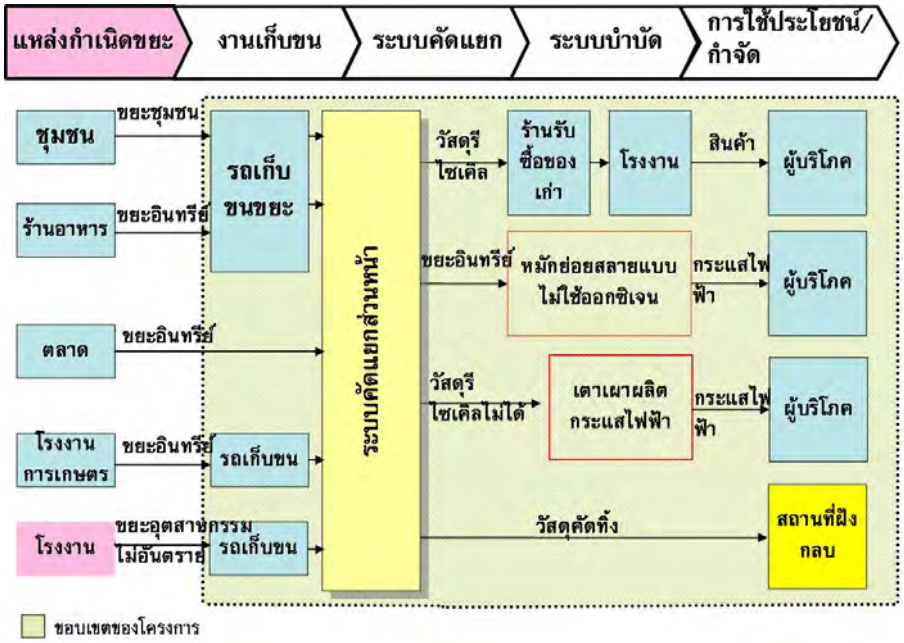


ภาพที่ 4.7 สถิติการกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีฝังกลบของท้องถิ่นทั่วประเทศ

การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ เมื่อองค์กรปกครอง ส่วนท้องถิ่นสามารถก่อสร้างและบริหารดำเนินการสถานที่ฝังกลบได้ตามมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับจากประชาชน อย่างไรก็ตามหากสามารถพัฒนาสถานที่ฝังกลบได้ การนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาใช้ประโยชน์จะต้องใช้เวลาอีกไม่น้อยกว่า 7 ปีนับตั้งแต่เริ่มดำเนินการ ยกเว้นการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากกองขยะชุมชนขนาดใหญ่ เช่น พื้นที่ทิ้งขยะชุมชนอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม สถานที่ฝังกลบราชาเทวะ จังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น แต่พื้นที่เหล่านั้นไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณก๊าซที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้แน่นอนเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวไม่ได้ออกแบบให้รวบรวมก๊าซชีวภาพ แต่เป็นการเจาะเพื่อรวบรวมก๊าซภายหลัง

ดังนั้น การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบจึงยังไม่เป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ในปัจจุบัน ยกเว้นในกรณีของหลุมขยะขนาดใหญ่ของกรุงเทพมหานครดังที่กล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตามในกระบวนการกำจัดขยะชุมชนไม่อาจหลีกเลี่ยงการฝังกลบได้เพราะเป็นการกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการจัดการขยะชุมชน ดังนั้น การพัฒนาสถานที่ฝังกลบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรคำนึงถึงการนำเอาก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในอนาคตด้วย

ทางเลือกสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนที่เหลือได้แก่กระบวนการทางความร้อนซึ่งประกอบด้วยการใช้เตาเผาและระบบก๊าซเชื้อเพลิง กับกระบวนการชีวเคมีโดยการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับการนำขยะชุมชนมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะเป็นเพียงการ แปรรูป (Material Transformation) จึงจะไม่นำมาพิจารณาในกรณีของการผลิตกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 4.8 การคัดแยกและจัดเก็บขยะชุมชนแบบแยกประเภท ช่วยให้การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีความเป็นไปได้

เพื่อให้การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีประสิทธิภาพ การแยกขยะชุมชนเป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นลำดับแรกดังแสดงในภาพที่ 4.8 สมมติว่า สังคมไทยสามารถคัดแยกขยะอินทรีย์ประเภทเศษอาหารออกจากขยะชุมชนรวมได้ประมาณ 50% ของขยะอินทรีย์ทั้งหมดแล้วนำเอาขยะอินทรีย์ส่วนนั้นไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และนำขยะชุมชนส่วนที่เหลือไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเตาเผา ศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากสมมติฐานนี้มีดังนี้

- ศักยภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากขยะอินทรีย์ 50% ของขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะได้ประมาณ 100-130 MW
- ผลจากการแยกขยะอินทรีย์ออกไป 50% ทำให้ค่าความร้อนของขยะชุมชนส่วนที่เหลือเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณค่าความร้อนโดยใช้สูตรของดูลอง(Modified Dulong Formula) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1,633 Kcal/kg เป็น 2,043 Kcal/kg ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของขยะชุมชนด้วยการเผาหลังจากคัดขยะอินทรีย์ออกไปแล้วจึงสูงขึ้นเป็น 400 MW
- เมื่อเกิดกระบวนการคัดแยกขยะชุมชนจากต้นทางและการผสมผสานกระบวนการแปรรูปทำให้ศักยภาพรวมจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 500 MW จากปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้น 39,956 ตัน/วัน

การประเมินศักยภาพของขยะชุมชนในการผลิตกระแสไฟฟ้าข้างต้นเป็นการประเมินเพื่อเปรียบเทียบการใช้กระบวนการแปรรูปเท่านั้น ในขั้นตอนของการพัฒนาโครงการจริงจะต้องนำเอาปัจจัยอื่นๆมาร่วมพิจารณาด้วย อาทิ ความเหมาะสมทางสังคม ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน รวมถึงประเด็นการบริหารดำเนินการ

อย่างไรก็ตาม การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในปัจจุบันยังน้อยกว่า 1% ของศักยภาพที่สามารถผลิตได้ ดังนั้น ภายใต้นโยบายการสนับสนุนที่เหมาะสมของรัฐและการจัดการที่ถูกต้องขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โอกาสของการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนยังมีอีกมาก

4.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

4.3.1 เกณฑ์และมาตรฐาน: สมมติฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้การออกแบบและการก่อสร้างระบบต่างๆ จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์ มาตรฐานและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างน้อย เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เทคโนโลยีตามประเภทและวิธีการที่แตกต่างกันเท่านั้น

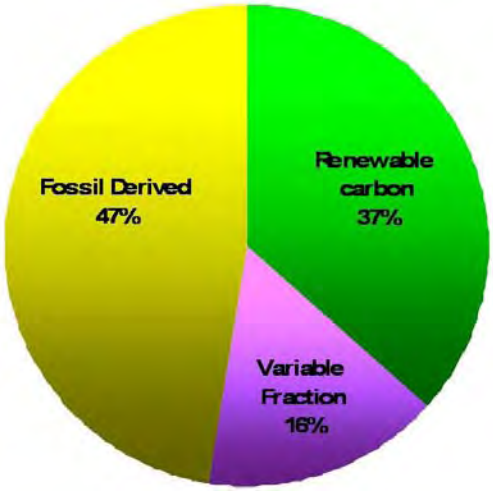
4.3.2 ผลกระทบจากขยะชุมชน: การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นกระบวนการหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรนอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ การนำมาแปรรูปใหม่ หรือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ แม้กระบวนการเหล่านี้จะเกิดประโยชน์แต่ก็มีความยุ่งยากและมีต้นทุนในการดำเนินการทำให้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่ยังคงเลือกวิธีการกองทิ้งหรือฝังกลบที่มีต้นทุนที่ต่ำและง่ายต่อการจัดการเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีกำจัดขยะชุมชนอื่นๆ แต่การกองทิ้งหรือฝังกลบก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง ปริมาณขยะอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในขยะชุมชนที่มีมากกว่า 60% โดยน้ำหนักเป็นตัวการทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) ที่มีศักยภาพก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถึง 23 เท่า และยังเป็นสาเหตุของการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ เช่น มลภาวะทางอากาศ กลิ่น และน้ำเสีย

ทิศทางการกำจัดขยะชุมชนในหลายประเทศจึงเริ่มจากการลดและคัดแยกขยะและการจำกัดปริมาณขยะอินทรีย์ที่จะฝังกลบให้เหลือน้อยที่สุดสอดคล้องกับหลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะชุมชน (Waste Management Hierarchy) การลดและคัดแยกขยะชุมชนจึงไม่เพียงก่อให้เกิดผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจแต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการลดปัญหาภาวะโลกร้อนอีกด้วย

4.3.3 การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก: แม้ว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้รับการจัดให้อยู่ในหมวดของการผลิตพลังงานทดแทน (Renewable Energy) โดยโครงการสามารถลดปริมาณการเกิดก๊าซเรือนกระจก แต่เนื่องจากองค์ประกอบของขยะชุมชนบางส่วนผลิตมาจากวัตถุดิบที่มีต้นกำเนิดจากฟอสซิล (Fossil Derived Raw Materials) เช่น ปิโตรเลียม ได้แก่ขยะประเภทพลาสติก ซึ่งตามหลักการของ IPCC (Intergovernmental Energy Agency) ไม่ถือว่าองค์ประกอบของขยะชุมชนประเภทนี้เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียน (Renewable Fuel) แต่นับเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทหนึ่ง ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้องค์ประกอบขยะชุมชนส่วนนี้เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในกรณีของเตาเผา (Incinerator) ซึ่งถือเป็นปัจจัยด้านลบของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของการเทกองหรือฝังกลบขยะชุมชนซึ่งเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน จะพบว่าปริมาณของก๊าซมีเทนที่ได้รับการปลดปล่อยจากกองขยะหรือสถานที่ฝังกลบก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและภาวะโลกร้อนมากกว่า นอกจากนั้น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนยังช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทถ่านหิน น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ ดังนั้น ในภาพรวมโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นโครงการที่สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net Carbon Reduction) จึงเป็นประโยชน์ในการลดปัญหาภาวะโลกร้อน

สำหรับประเทศไทย สัดส่วนของขยะอินทรีย์ในขยะชุมชนประมาณ 60% ทำให้ปริมาณขยะชุมชน 1 ตันปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมาสู่บรรยากาศเมื่อขยะถูกเทกองหรือฝังกลบในปริมาณประมาณ 100 กิโลกรัม (ประเทศในยุโรปมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากขยะชุมชนประมาณ 70 กิโลกรัมต่อขยะชุมชน 1 ตัน) ซึ่งมีค่าเท่ากับการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2,300 กิโลกรัม

การนำก๊าซจากหลุมฝังกลบมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะช่วยลดผลกระทบบางส่วนเท่านั้น ในทางปฏิบัติพบว่าการรวบรวมก๊าซที่มีประสิทธิภาพสูงสุดทำได้เพียง 50% ของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังเช่นตัวอย่างการรวบรวมก๊าซกรณีสถานที่ฝังกลบในพื้นที่ราชาเทวะ จังหวัดสมุทรปราการ ทำให้สถานที่ฝังกลบยังคงเป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยเหตุนี้ การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่จะเข้าสู่สถานที่ฝังกลบ



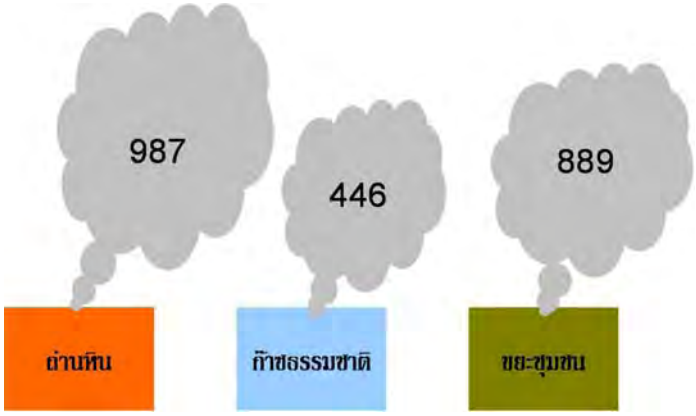
ภาพที่ 4.9 สัดส่วนของคาร์บอนในขยะชุมชน(Carbon Content of MSW)

กรณีของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยการเผา ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1,100 กิโลกรัมต่อปริมาณขยะชุมชน 1 ตัน มีสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากขยะที่มีฐานวัตถุดิบมาจากฟอสซิล (Fossil Derived Material) ได้แก่ พลาสติก ประมาณ 47% เท่ากับ 517 กิโลกรัม โดยขยะชุมชนของประเทศไทยมีค่าความร้อนเท่ากับ 1,633 Kcal/kg สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 475 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยการเผา มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1,088 กรัมต่อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (1,088 gm/kWh) ดังภาพที่ 4.10 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อพลังงานที่ผลิตได้สูงกว่ากรณีที่ผลิตพลังงานจากถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ดังนั้น การลดความชื้นเพื่อเพิ่มค่าความร้อนของขยะชุมชนให้สูงกว่า 1,633 Kcal/kg จึงเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อให้อัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงลดลง

ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยพลังงานจากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ กับขยะชุมชนที่มีค่าความร้อน 1,633 Kcal/kg

เมื่อขยะชุมชนมีค่าความร้อนสูงขึ้นเป็น 2,000 Kcal/kg อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงจะลดลงเหลือ 889 gm/kWh ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยพลังงานจากเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ กับขยะชุมชนที่มีค่าความร้อน 2,000 Kcal/kg

4.3.4 ผลประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม: ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนไม่ว่าด้วยกระบวนการทางความร้อนหรือชีวเคมี ล้วนก่อให้เกิดผลประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในส่วนของการลดปริมาณก๊าซมีเทนในกรณีของการเทกองหรือฝังกลบ และลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากการผลิตพลังงานโดยโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

กรณีของการใช้เทคโนโลยีเตาเผา โครงการจะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาขยะที่ผลิตจากวัตถุดิบฟอสซิล 517 กิโลกรัม แต่สามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจำนวน 475 kWh เป็นปริมาณ 468 กิโลกรัมและลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการฝังกลบอีก 2,300 กิโลกรัมทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจากการนำขยะชุมชน 1 ตันมาผลิตกระแสไฟฟ้า ลดลงเท่ากับ 2,251 กิโลกรัม

ภาพที่ 4.12 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิลดลงเท่ากับ 517-468-2,300 = 2,251 กิโลกรัม

กรณีของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางชีวเคมี เป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศโดยตรงด้วยการนำไปใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า แม้จะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Biogas Generator) บ้าง แต่เมื่อนำมาพิจารณาปริมาณสุทธิแล้วยังทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

ดังนั้น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจึงมีส่วนช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดจากก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงหลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะชุมชน (Waste Management Hierarchy)

4.4 ความเป็นไปได้ในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

มติคณะรัฐมนตรีวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2548 เห็นชอบวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหาขยะชุมชนซึ่งเสนอโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมดังนี้

"การจัดการขยะชุมชน *ให้มีการเก็บรวบรวมและกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการที่ถูกต้อง โดยเฉพาะขยะเกิดขึ้นในเทศบาลทั่วประเทศต้องได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ภายในปี 2552 มีการเลือกใช้เทคโนโลยีการกำจัดแบบผสมผสานหลายวิธีที่จะเน้นการนำขยะชุมชนมาใช้ประโยชน์ ทั้งในรูปแบบปุ๋ยอินทรีย์และการแปรรูปเป็นพลังงานและจะส่งเสริมให้เอกชนเข้ามาลงทุนและดำเนินการให้มากขึ้นโดยมีวิธีดำเนินงาน ดังนี้*

- *ส่งเสริมและสนับสนุนให้ชุมชนมีการคัดแยกและนำขยะชุมชนไปใช้ประโยชน์และใช้สินค้าที่มีส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้แล้วหรือใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยให้ส่วนราชการและหน่วยงานของรัฐเป็นหน่วยงานตัวอย่างและให้กระทรวงการคลังพิจารณาให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีแก่ผู้ประกอบการที่นำวัสดุใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าเพื่อลดต้นทุนให้สามารถแข่งขันกับการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติได้*
- *กำหนดเป็นแนวนโยบายให้ทุกจังหวัดต้องจัดหาสถานที่กำจัดขยะชุมชนเพื่อรองรับขยะชุมชนในระยะยาว และอปท. ขนาดใหญ่ที่ผลิตขยะชุมชนมากกว่าวันละ 100 ตัน ต้องส่งเสริมให้เอกชนเข้ามาดำเนินการลงทุนก่อสร้างและบริหารจัดการระบบแทน โดยรัฐสนับสนุนงบประมาณเฉพาะค่าเดินระบบที่ต้องจ่ายให้กับเอกชนในรูปแบบของงบถดถอยในช่วงระยะ 3-5 ปีแรก*
- *อปท. ที่ขยะชุมชนน้อยให้ไปใช้ระบบกำจัดของอปท. ขนาดใหญ่ที่อยู่ใกล้เคียงหรือรวมตัวกันหลายแห่งเพื่อสร้างสถานที่กำจัดไว้ใช้ร่วมกันโดยรัฐสนับสนุนงบประมาณลงทุนให้บางส่วน"*

สาระสำคัญของมติคณะรัฐมนตรีดังกล่าวอยู่ที่การให้ความสำคัญของการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด การใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานและการกำหนดขนาดของโครงการที่จะส่งเสริมให้เอกชนมีส่วนร่วมในการลงทุนซึ่งควรมีขนาดที่สามารถรองรับขยะชุมชนได้มากกว่า 100 ตันต่อวัน

อย่างไรก็ตาม การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการจัดการขยะชุมชน ดังนั้น ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจึงขึ้นกับความสำเร็จในการพัฒนาโครงการด้านการจัดการขยะชุมชน ซึ่งที่ผ่านมาแม้ว่ารัฐให้ความสำคัญโดยการจัดงบประมาณไม่น้อยกว่า 22,500 ล้านบาทให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเพื่อก่อสร้างระบบกำจัดขยะชุมชน 103 แห่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ แต่ไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่สามารถบริหารดำเนินการระบบกำจัดขยะชุมชนให้เป็นไปตามมาตรฐาน จนกระทั่งสถานที่กำจัดขยะชุมชนบางแห่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชุมชนและได้รับการคัดค้านจากชุมชนในที่สุด

สาเหตุที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่สามารถดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานเกิดจากข้อจำกัดด้านบริหารจัดการและปัญหาขาดแคลนบุคลากรที่มีทักษะและความชำนาญเฉพาะด้าน สอดคล้องกับข้อสรุปในรายงานโครงการนำร่องการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำเสียและขยะมูลฝอยชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคเอกชนโดยสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกล่าวถึงการจัดการขยะชุมชนว่า

"การจัดการขยะชุมชนที่ถูกต้องเหมาะสมจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยปัจจัยด้าน 1) เทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม 2) ระบบการจัดการต้องอาศัยความรู้ความสามารถในด้านการบริหารจัดการ การดำเนินงานต้องอาศัยบุคลากรที่ต้องใช้ทักษะและความชำนาญเฉพาะด้าน 3) งบประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุน การบริหารจัดการ ดำเนินงานและบำรุงรักษา และ 4) การยอมรับและการมีส่วนร่วมของประชาชน"

โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีความซับซ้อนยุ่งยากกว่าโครงการที่เกี่ยวกับระบบกำจัดขยะชุมชนทั่วไปเพราะต้องการบุคลากรที่มีความชำนาญเฉพาะทั้งด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและบริหารดำเนินงานส่วนการผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity Generation Facility) ซึ่งเป็นกิจการที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่มีประสบการณ์มาก่อน อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน

4.4.1 ขนาดของโครงการ

ขนาดของโครงการที่เหมาะสมตามมติคณะรัฐมนตรี วันที่ 22 กุมภาพันธ์ ปี 2548 กำหนดให้โครงการที่เอกชนมีส่วนร่วมในการลงทุนและดำเนินงานควรมีขนาดรองรับปริมาณขยะชุมชนไม่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการโดยพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบต่างๆ ดังนี้

1) ระบบเตาเผาผลิตกระแสไฟฟ้า
2) ระบบก๊าซเชื้อเพลิง
3) ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

แม้ว่าประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมาก แต่เนื่องจากปริมาณขยะชุมชนกระจัดกระจายอยู่ในพื้นที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็ก เช่น องค์การบริหารส่วนตำบลและเทศบาลตำบลมากกว่าร้อยละ 40 ที่เหลือกระจายอยู่ในพื้นที่ของท้องถิ่นขนาดกลางและขนาดใหญ่ เช่น เทศบาลเมือง เทศบาลนครหรือในเขตการปกครองพิเศษกรุงเทพมหานครและพัทยา ดังนั้น ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจึงขึ้นกับการรวบรวมปริมาณขยะชุมชนให้เพียงพอกับขนาดของโครงการที่เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ความเป็นไปได้ของโครงการในงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญของการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial Feasibility Analysis) เพื่อใช้ในการตัดสินใจลงทุนในโครงการนั้นๆ ซึ่งผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการขึ้นกับรายได้จากการดำเนินงาน 2 ส่วนได้แก่ รายได้จากการจำหน่ายผลผลิตของระบบซึ่งได้แก่กระแสไฟฟ้าหรือปุ๋ยอินทรีย์และรายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องจ่ายให้กับโครงการ

รายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าหรือผลผลิตอื่นๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ขึ้นกับขนาดของผลผลิตและราคารับซื้อ แต่รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการจ่าย (Capability to Pay) ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเพราะหากไม่สามารถจะจ่ายค่าธรรมเนียมการให้บริการกำจัดขยะชุมชนได้โครงการย่อมไม่สามารถดำเนินงานได้อย่างยั่งยืนและอาจกลายเป็นภาระที่จะต้องขอรับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากรัฐ

เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ ในงานวิจัยนี้จะใช้ต้นทุนดำเนินงานกำจัดขยะชุมชนในปัจจุบันของท้องถิ่นต่างๆมาเป็นบรรทัดฐานในการพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการและอาจจำเป็นต้องปรับเพิ่มเพื่อให้เกิดความเป็นไปได้ของโครงการตามแต่ละกรณี

ข้อมูลต้นทุนดำเนินงานกำจัดขยะชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศสำรวจโดยมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานในปี 2548 มีดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนดำเนินงานกำจัดขยะชุมชน

ขนาดท้องถิ่น	ปริมาณขยะชุมชนตันต่อวัน		
	น้อยกว่า 50 ตัน	50-100 ตัน	มากกว่า 100 ตัน
ต้นทุนดำเนินงานกำจัดขยะ (บาทต่อตัน)	377	420	360
ค่าเฉลี่ยต้นทุนดำเนินงานกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ385 บาทต่อตัน			

4.4.1.1 กรณีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบเตาเผา (Incinerator)

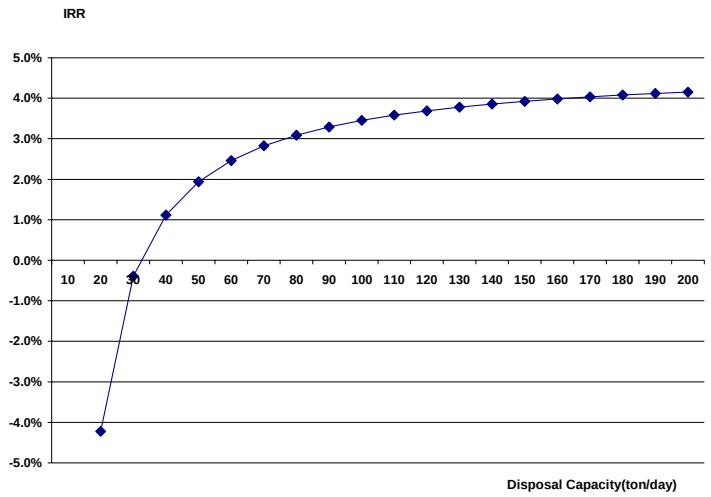
การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการพิจารณาจากอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการหรือที่เรียกว่า Internal Rate of Return (IRR) หมายถึงค่าเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรหรือการลงทุนโดยเปรียบเทียบกับการใช้ทรัพยากรหรือการลงทุนจำนวนเดียวกันไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การลงทุนเพื่อให้ได้ดอกเบี้ยเงินฝากจากสถาบันการเงิน

ผลตอบแทนของโครงการที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการนี้ควรมีผลตอบแทนมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากเนื่องจากการลงทุนในโครงการมีความเสี่ยงมากกว่าผลตอบแทนจากเงินฝาก ในการวิจัยนี้จะใช้อัตราผลตอบแทนภายในที่ IRR= 7% เป็นบรรทัดฐาน และมีสมมติฐานในการวิเคราะห์แสดงดังนี้

- ระยะเวลาของโครงการ 20 ปี
- ระยะเวลาในการก่อสร้าง 2 ปี
- อัตราคิดลด(Discount Rate) 5%
- อัตราเงินเฟ้อ(Inflation Rate) 2%
- ต้นทุนในการก่อสร้างระบบ(Cost of Plant) 4 ล้านบาท/ตันขยะรายวัน
- ต้นทุนในการบำรุงรักษา(O&M Cost) 2.5%ของมูลค่าโครงการ/ปี
- ต้นทุนด้านบุคลากร(ค่าเฉลี่ย) 3.3 ล้านบาทในปีแรก
- ค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน 385 บาท/ตัน
- อัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า 2.00 บาท/หน่วย
- ค่าความร้อนของขยะชุมชนที่ใช้ในการวิเคราะห์ 1,800 Kcal/kg

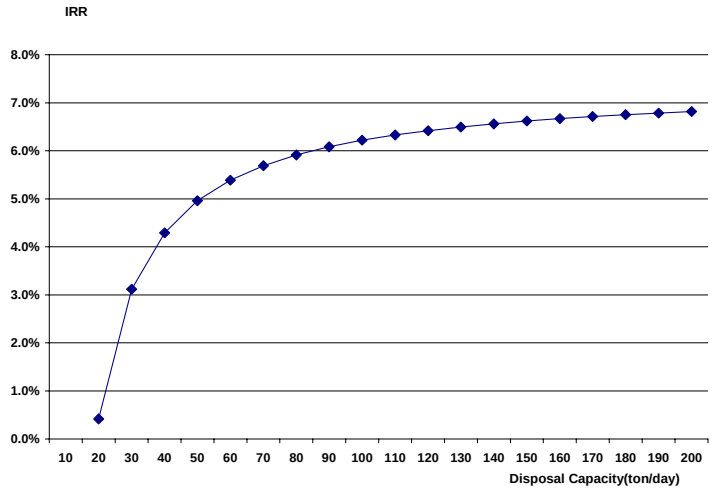
ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เริ่มจากสมมติฐานที่ให้โครงการมีรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าและรายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน กรณีที่ราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้ายังคงเป็นอัตราปกติเท่ากับ 2 บาท/หน่วย และค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับค่าเฉลี่ยต้นทุนดำเนินการ 385 บาท/ตัน พบว่าโครงการที่มีขนาดรองรับขยะชุมชน 200 ตัน/วัน มี

อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 4.15% เมื่อโครงการมีขนาด 200 ตัน/วัน ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 อัตราผลตอบแทนของโครงการขนาดต่างๆ เมื่อค่าธรรมเนียมกำจัด = 385 บาท/ตันและอัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า = 2.00 บาท/หน่วย

เพื่อให้ได้อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสูงขึ้นเมื่อขนาดของโครงการสามารถรองรับขยะชุมชนได้ 200 ตัน/วัน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องจ่ายค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนในอัตราที่มากกว่า 385 บาท/ตัน โดยเมื่อค่าธรรมเนียมเท่ากับ 575 บาท/ตัน จะให้อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 7% ดังที่แสดงในภาพที่ 4.14 ท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะชุมชนมากกว่า 200 ตัน/วัน มีศักยภาพที่จะพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้ 10 แห่งดังตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.14 อัตราผลตอบแทนของโครงการขนาดต่างๆ เมื่ออัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า = 2.00 บาท/หน่วย และค่าธรรมเนียมกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น 575 บาท/ตัน

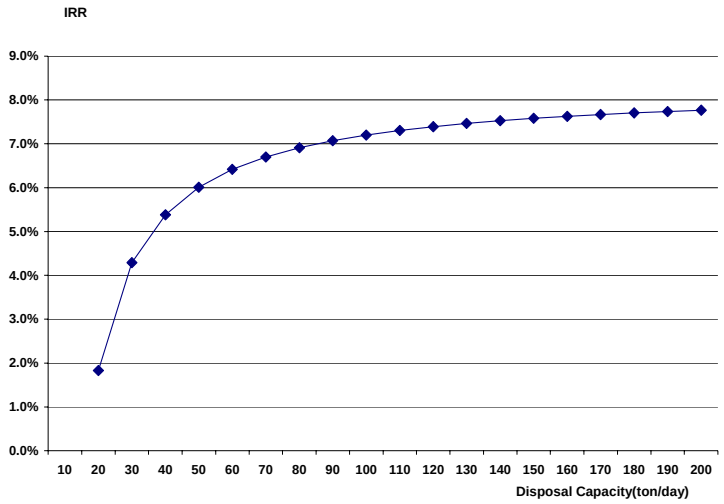
ตารางที่ 4.5 รายชื่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการพัฒนา
โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเตาเผา ที่มีประมาณขยะมากกว่า 200 ตัน/วัน

อปท.	ปริมาณขยะชุมชน(ตัน/วัน)
1) กรุงเทพมหานคร	10,075
2) เทศบาลเมืองอ้อมน้อย	228
3) องค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี	800
4) เทศบาลนครเชียงใหม่	350
5) เทศบาลนครขอนแก่น	230
6) เทศบาลเมืองอำนาจเจริญ	312
7) เมืองพัทยา	200
8) องค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี	950
9) จังหวัดภูเก็ต	450
10) เทศบาลนครหาดใหญ่	230

กรณีที่โครงการมีขนาดเล็กลงโดยมีปริมาณขยะชุมชนที่กำจัดด้วยเตาเผาประมาณ 100 ตัน/วัน โครงการจะให้อัตราผลตอบแทนภายในตามเกณฑ์เมื่อท้องถิ่นยินดีที่จะจ่ายค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 650 บาท/ตัน (ภาพที่ 4.15) ในกรณีนี้ทำให้มีจำนวนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่สามารถพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเตาเผาเพิ่มขึ้นอีก 10 แห่งดังตารางที่ 4.6

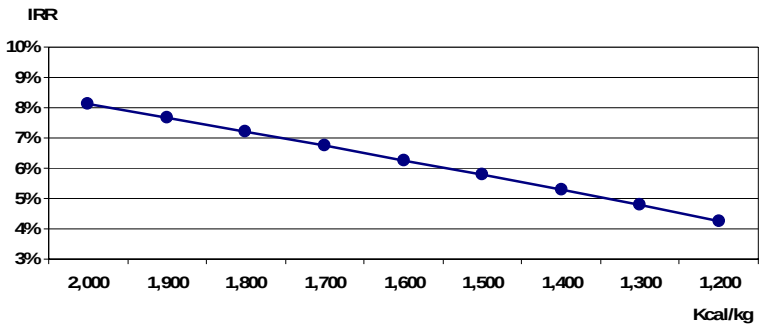
ตารางที่ 4.6 รายชื่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเตาเผา ที่มีประมาณขยะมากกว่า 100 ตัน/วัน

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	ปริมาณขยะชุมชน(ตัน/วัน)
1) องค์การบริหารส่วนจังหวัดเชียงใหม่	140
2) เทศบาลตำบลเวียงฝาง (ศูนย์กำจัดขยะรวม จังหวัดเชียงใหม่)	140
3) เทศบาลนครนครสวรรค์	130
4) เทศบาลเมืองรังสิต	120
5) เทศบาลนครนครราชสีมา	180
6) เทศบาลนครอุดรธานี	170
7) เทศบาลนครอุบลราชธานี	109
8) เทศบาลเมืองแหลมฉบัง	110
9) เทศบาลนครนครศรีธรรมราช	122
10) เทศบาลเมืองสุราษฎร์ธานี	170



ภาพที่ 4.15 อัตราผลตอบแทนของโครงการขนาดต่างๆเมื่ออัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า = 2.00 บาทต่อหน่วยและค่าธรรมเนียมกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น 650 บาท/ตัน

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการพบว่า รายได้หลักของโครงการเกิดจากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า ดังนั้น ผลผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเป็นปัจจัยที่อ่อนไหว (Sensible Factor) หากไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามเกณฑ์ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการก็จะเปลี่ยนแปลงไป และตัวแปรสำคัญที่จะทำให้ผลผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายคือค่าความร้อนของขยะชุมชนซึ่งสอดคล้องกับกรณีตัวอย่างเตาเผาผลิตกระแสไฟฟ้า จังหวัดภูเก็ตดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลตอบแทน(IRR)ของโครงการกับค่าความร้อนของขยะชุมชน

4.4.1.2 กรณีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification)

ระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานได้สูงกว่าการแปรรูปพลังงานของระบบเตาเผา โดยทั่วไประบบก๊าซเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพระหว่าง 35%-45% ทำให้ระบบก๊าซเชื้อเพลิงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

แต่ระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีข้อจำกัดที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงก่อนที่จะตัดสินใจโดยเอกสารแนะนำเทคโนโลยีจัดทำโดยกลุ่ม Friend of the Earth ประจำเดือนตุลาคม 2002 ได้กล่าวถึงข้อจำกัดของเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิงไว้ดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพของระบบก๊าซเชื้อเพลิงขึ้นกับค่าความร้อนของขยะชุมชนซึ่งต้องการขยะที่เหมาะสำหรับการเผาไหม้ได้แก่ กระดาษ พลาสติก ดังนั้น ในกรณีที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นให้ความสำคัญกับการลดและคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด โดยเน้นกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) จะทำให้ปริมาณขยะส่วนที่เหมาะกับระบบก๊าซเชื้อเพลิงลดลงจนอาจประสบปัญหาวัตถุดิบที่จะนำเข้าสู่ระบบ กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นในหลายประเทศ

2) แม้ว่าขยะอินทรีย์บางส่วนสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับระบบก๊าซเชื้อเพลิงได้ แต่วัตถุดิบดังกล่าว เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ สามารถนำไปแปรรูปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการแปรรูปเป็นพลังงาน ทำให้ระบบก๊าซเชื้อเพลิงประสบปัญหาวัตถุดิบเช่นกัน

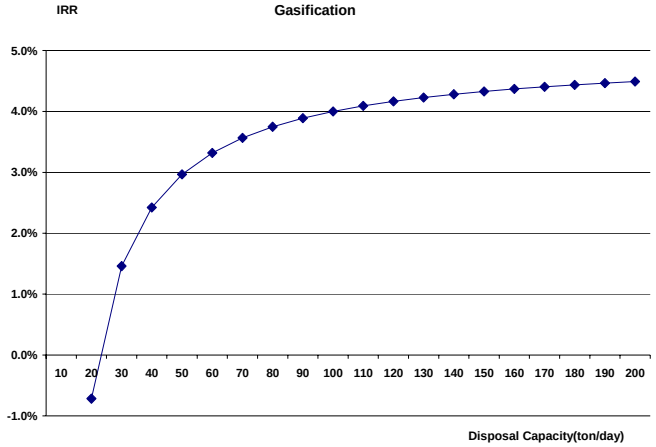
3) ระบบเตาเผาเป็นที่ยอมรับและใช้มาเป็นเวลานานทำให้ระบบเตาเผามีข้อมูลด้านการลงทุน การบำรุงรักษา ข้อดีและข้อบกพร่องที่ชัดเจน ขณะที่ระบบก๊าซเชื้อเพลิงเป็นเทคโนโลยีที่เพิ่งจะได้รับการพัฒนาและยังไม่สามารถแสดงผลการทำงานตลอดอายุการใช้งาน มีเพียงการนำเสนอผลจากการทดสอบหรือการคาดการณ์เท่านั้น ดังนั้น การนำระบบก๊าซเชื้อเพลิงจึงมีความเสี่ยงและหากจะนำมาใช้จริงจะต้องคำนึงถึงต้นทุนความเสี่ยงนี้ด้วย

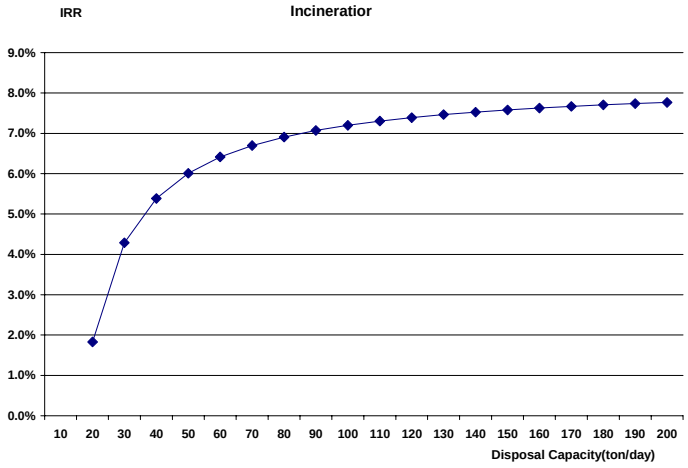
นอกเหนือจากข้อจำกัดที่นำเสนอโดยกลุ่ม Friend of the Earth แล้ว ในการสืบค้นข้อมูลด้านต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการดำเนินงานของระบบที่ติดตั้งและดำเนินงาน ผู้วิจัยพบว่าการนำเสนอข้อมูลของระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีความสับสนโดยข้อมูลการลงทุนในรายงานการศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี 2548 ต่ำกว่าต้นทุนการลงทุนระบบเตาเผา ขณะที่ข้อมูลการลงทุนระบบก๊าซเชื้อเพลิงในต่างประเทศจะสูงกว่าต้นทุนการลงทุนระบบเตาเผาถึงเท่าตัว ทำให้ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของระบบก๊าซเชื้อเพลิงที่นำเสนอในประเทศไทยมีอัตราผลตอบแทนภายในสูงมากจนทำให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเกิดความโน้มเอียงและเชื่อว่าเอกชนสนใจจะลงทุนโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบก๊าซเชื้อเพลิงโดยท้องถิ่นจ่ายค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเพียงเล็กน้อย ในส่วนของการดำเนินงาน ระบบก๊าซเชื้อเพลิงต้องการผู้ชำนาญการเฉพาะด้านมากกว่าระบบเตาเผา รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการผลิตและก่อสร้างจะต้องมีคุณสมบัติทนกับความร้อนและความสึกหรอ ดังนั้น ต้นทุนดำเนินการจึงไม่น่าจะเท่ากับต้นทุนดำเนินการของระบบเตาเผาตามที่นำเสนอในรายงานการศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชนที่อ้างถึงแล้ว

เพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบก๊าซเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้จะกำหนดสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

- ต้นทุนการลงทุนระบบเตาเผา	3.5 ล้านบาทต่อตันขยะรายวัน
- ต้นทุนการลงทุนระบบก๊าซเชื้อเพลิง	7 ล้านบาทต่อตันขยะรายวัน
- ต้นทุนดำเนินงาน	สูงกว่าระบบเตาเผาประมาณ 25%
- ประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานไฟฟ้า	40%

จากประสิทธิภาพในการแปรรูปเป็นกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าระบบเตาเผา ทำให้ระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แต่เนื่องจากต้นทุนลงทุนและดำเนินงานที่มากกว่า ทำให้อัตราผลตอบแทนของระบบก๊าซเชื้อเพลิงยังคงต่ำกว่าระบบเตาเผา (ภาพที่ 4.17) เมื่อโครงการมีขนาด 200 ตัน/วันและราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่ 2.00 บาทต่อหน่วยระบบก๊าซเชื้อเพลิงต้องการรายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนในอัตราไม่น้อยกว่า 650 บาทต่อตันโครงการจึงจะมีความเป็นไปได้





ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนของระบบก๊าซเชื้อเพลิงและเตาเผา เมื่อราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาทต่อหน่วยและค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 650 บาทต่อตัน

4.4.1.3 กรณีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

การนำระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องมีกระบวนการแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดที่มีประสิทธิภาพ สามารถคัดแยกและจัดเก็บขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่ออกจากขยะชุมชนเพื่อนำไปใช้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน อย่างเช่นที่ดำเนินการอยู่ที่เทศบาลนครระยอง

ขนาดของโครงการสำหรับการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแตกต่างจากกรณีของการใช้กระบวนทางความร้อน เพราะขนาดของโครงการจะหมายถึงปริมาณของขยะอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบซึ่งอาจมีปริมาณเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ตัวอย่างเช่น ขนาดของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเท่ากับ 60 ตัน/วัน หมายถึงปริมาณขยะ

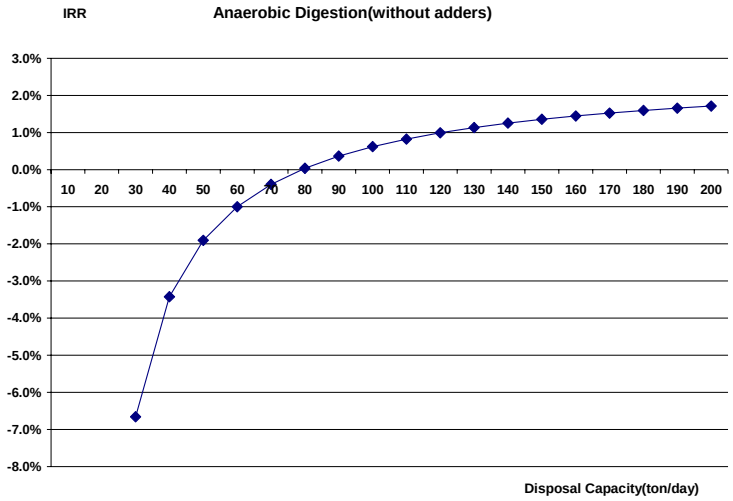
ชุมชนรวมในพื้นที่นั้นอาจมีมากกว่า 120-150 ตัน/วันขึ้นกับสัดส่วนของขยะอินทรีย์หรือแหล่งกำเนิดขยะอินทรีย์ในท้องถิ่นนั้นๆ

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงต้องมีสมมติฐานว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถจัดเก็บขยะอินทรีย์ที่แยกจากแหล่งกำเนิดและป้อนเข้าสู่ระบบได้ตามขนาดที่ออกแบบไว้เพราะหากปริมาณขยะอินทรีย์น้อยลง ผลตอบแทนของโครงการจะลดลงด้วย

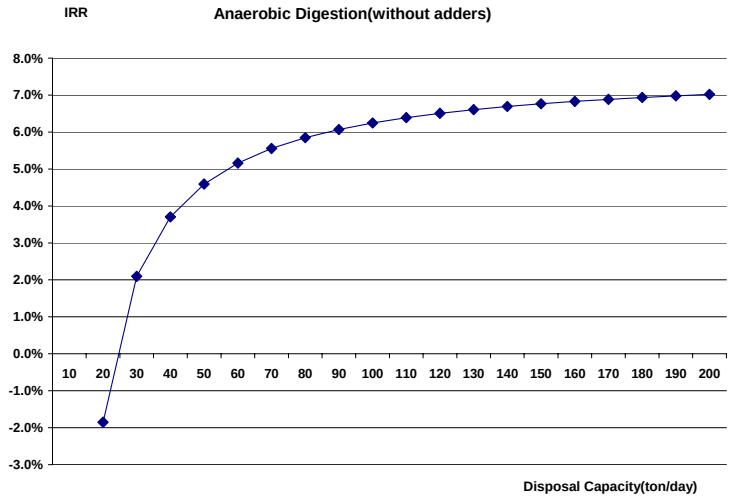
สมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของระบบที่เป็นไปได้เมื่อค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 385 บาท/ตันและราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาท/หน่วย

- ระยะเวลาของโครงการ	20 ปี
- ระยะเวลาในการก่อสร้าง	2 ปี
- อัตราคิดลด (Discount Rate)	5%
- อัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate)	2%
- ต้นทุนในการก่อสร้างระบบ (Cost of Plant)	3 ล้านบาท/ตันขยะรายวัน
- ต้นทุนในการบำรุงรักษา (O&M Cost)	2.5%ของมูลค่าโครงการต่อปี
- ต้นทุนด้านบุคลากร (ค่าเฉลี่ย)	3.3 ล้านบาทในปีแรก
- ค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน	385 บาท/ตัน
- อัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า	2.00 บาท/หน่วย
- ราคาจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์	1,000 บาท/ตัน
- สัดส่วนของขยะอินทรีย์ในขยะชุมชน	40%-60%

จากสมมติฐานข้างต้น พบว่าแม้ขนาดของโครงการจะสามารถรองรับขยะอินทรีย์ได้ถึง 200 ตัน/วัน อัตราผลตอบแทนของโครงการยังคงต่ำกว่า 7% หมายความว่า ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถให้ผลตอบแทนคุ้มกับการลงทุน (ภาพที่ 4.18) และเมื่อปรับเพิ่มค่าธรรมเนียมกำจัด พบว่าโครงการเริ่มมีความเป็นได้เมื่อค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 775 บาท/ตันดังที่แสดงในภาพที่ 4.19 กรณีนี้มีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่สามารถพัฒนาโครงการดังกล่าวได้น้อยมากโดยจะต้องมีปริมาณขยะชุมชนรวมเกิน 500 ตัน/วัน เช่น กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดปทุมธานีในรูปแบบศูนย์กำจัดขยะรวมของจังหวัด



ภาพที่ 4.18 อัตราผลตอบแทนของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 385 บาท/ตัน ราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาท/หน่วย และราคาจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 1,000 บาท/ตัน



ภาพที่ 4.19 โครงการที่มีขนาดของระบบรองรับขยะอินทรีย์ 200 ตัน/วันมีความเป็นไปได้ เมื่อค่าธรรมเนียมกำจัดขยะเพิ่มขึ้นเป็น 775 บาทต่อตัน

ในด้านการจัดการขยะชุมชน ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถจัดการกับขยะชุมชนได้ทั้งหมด ระบบนี้จึงควรเป็นเพียงองค์ประกอบหนึ่งของระบบกำจัดขยะรวม เพื่อให้การจัดการขยะชุมชนมีประสิทธิภาพ เช่น ร่วมกับระบบกำจัดแบบฝังกลบหรือระบบเตาเผา เป็นต้น

4.4.2 ผลจากนโยบายสนับสนุนของรัฐ

เพื่อเป็นการสนับสนุนการพัฒนาพลังงานทดแทน เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2549 รัฐได้กำหนดนโยบายสนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งครอบคลุมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน โดยกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีปริมาณพลังงานไฟฟ้าเสนอขายไม่เกิน 10 MW ตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงใน **ภาคผนวก จ**)

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

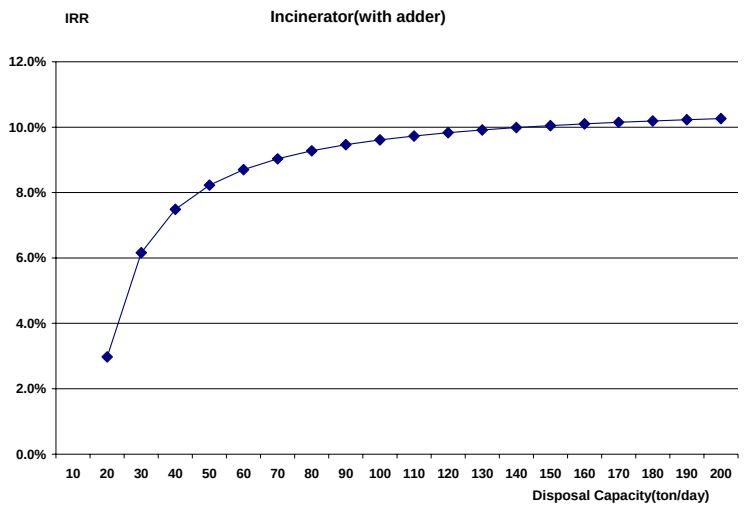
เชื้อเพลิง	**อัตราส่วนเพิ่ม(บาท/KW-ชั่วโมง)**
ชีวมวล	0.30
พลังน้ำขนาดเล็ก 50-200 KW	0.40
พลังน้ำขนาดเล็ก < 50 KW	0.80
ขยะ(ขยะชุมชนทุกเทคโนโลยี)	2.50
พลังงานลม	2.50
พลังงานแสงอาทิตย์	8.00

ในกรณีของเชื้อเพลิงประเภทขยะชุมชน รัฐกำหนดอัตราส่วนเพิ่ม (Adder) เท่ากับ 2.50 บาท/KW-ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 7 ปี นับจากวันเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ (Commercial Operation Date: COD) นโยบายดังกล่าวมีผลเชิงบวกต่อความเป็นไปได้ของโครงการ

โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบเตาเผาได้รับผลเชิงบวกจากนโยบายสนับสนุนนี้ทำให้รายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าในช่วง 7 ปีแรกเพิ่มขึ้น และขนาดของโครงการที่ให้อัตราผลตอบแทน (IRR) 7% เริ่มตั้งแต่ 50 ตัน/วันดังแสดงในภาพที่ 4.20 จากผลดังกล่าวทำให้มีจำนวนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่สามารถพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบเตาเผาเพิ่มขึ้นอีก 36 แห่ง รายชื่อดังตารางที่ 4.8 และมีปริมาณขยะชุมชนที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2,400 ตัน/วัน

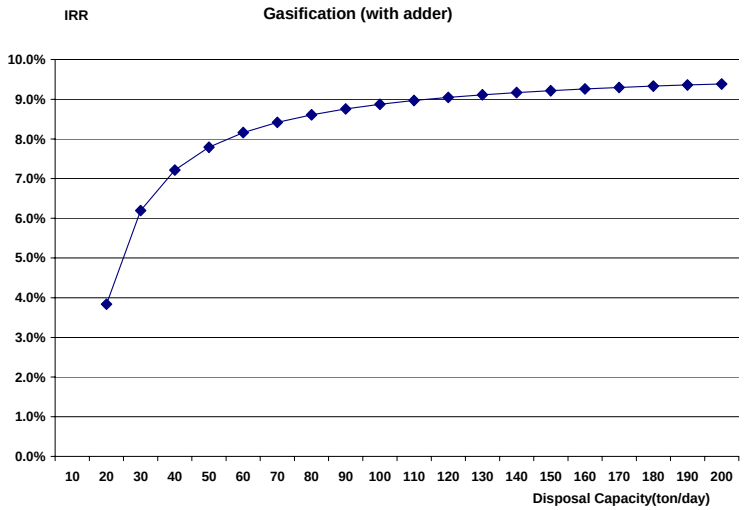
ตารางที่ 4.8 รายชื่อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะชุมชนรวมตั้งแต่ 100 ตัน/วันขึ้นไป

อปท.	จังหวัด	ปริมาณขยะ (ตัน/วัน)
1) กรุงเทพมหานคร	กรุงเทพมหานคร	10,075
2) เทศบาลนครเชียงใหม่	เชียงใหม่	350.00
3) เทศบาลนครนนทบุรี	นนทบุรี	322.22
4) เทศบาลเมืองอ้อมน้อย	สมุทรสาคร	228.00
5) เมืองพัทยา	ชลบุรี	210.26
6) เทศบาลนครราชสีมา	นครราชสีมา	204.44
7) เทศบาลนครปากเกร็ด	นนทบุรี	224.23
8) เทศบาลนครขอนแก่น	ขอนแก่น	156.25
9) เทศบาลนครนครปฐม	นครปฐม	150.00
10) เทศบาลเมืองรังสิต	ปทุมธานี	149.74
11) เทศบาลนครอุดรธานี	อุดรธานี	145.00
12) เทศบาลนครนครศรีธรรมราช	นครศรีธรรมราช	142.15
13) เทศบาลเมืองสระบุรี	สระบุรี	140.46
14) เทศบาลนครภูเก็ต	ภูเก็ต	140.00
15) เทศบาลตำบลบางปู	สมุทรปราการ	138.00
16) เทศบาลนครหาดใหญ่	สงขลา	136.29
17) เทศบาลนครนครสวรรค์	นครสวรรค์	130.00
18) เทศบาลเมืองสุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี	126.32
19) เทศบาลตำบลบางเมือง	สมุทรปราการ	112.00
20) เทศบาลตำบลแหลมฉบัง	ชลบุรี	111.11
21) เทศบาลตำบลเจ้าพระยาสุรศักดิ์	ชลบุรี	110.97
22) เทศบาลนครพิษณุโลก	พิษณุโลก	107.50
23) เทศบาลนครสมุทรปราการ	สมุทรปราการ	106.73
24) เทศบาลตำบลสำโรงใต้	สมุทรปราการ	105.00
25) เทศบาลนครลำปาง	ลำปาง	104.00
26) เทศบาลเมืองลัดหลวง	สมุทรปราการ	101.00
27) เทศบาลนครนครศรีอยุธยา	พระนครศรีอยุธยา	100.00
28) เทศบาลเมืองป่าตอง	ภูเก็ต	100.00



ภาพที่ 4.20 อัตราส่วนเพิ่ม (Adder) ของราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า 2.50 บาท/หน่วย ทำให้อปท. ขนาดเล็กที่มีขยะชุมชนตั้งแต่ 50 ตัน/วันขึ้นไปมีโอกาสพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบเตาเผา

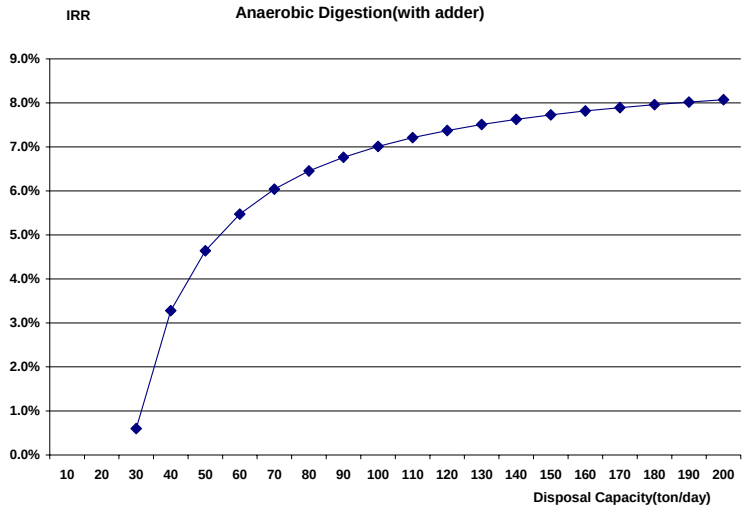
อัตราส่วนเพิ่มของราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า 2.50 บาท ยังทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีผลเชิงบวกในลักษณะเดียวกัน โดยโครงการที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ตัน/วัน ให้อัตราผลตอบแทนประมาณ 7% (ภาพที่ 4.21) ทำให้โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยระบบดังกล่าวมีความเป็นไปได้



ภาพที่ 4.21 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบก๊าซเชื้อเพลิงมีความเป็นไปได้ตั้งแต่ขนาด 50 ตัน/วัน เมื่อได้รับการสนับสนุนด้วยอัตราส่วนเพิ่ม (Adder) ของราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า 2.50 บาท

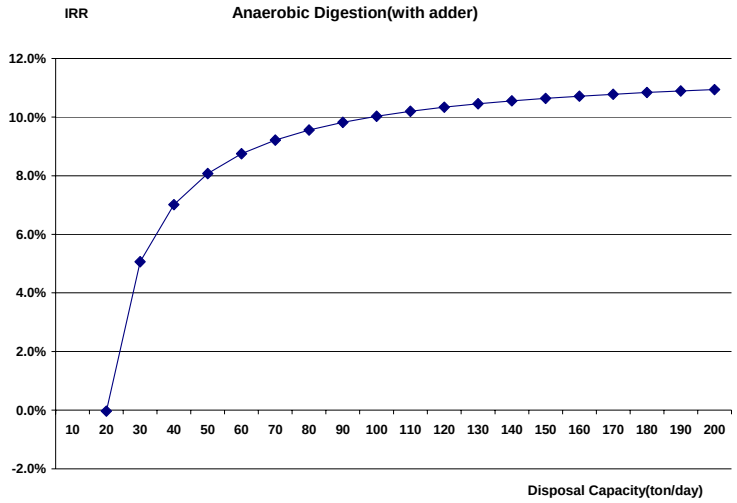
ดังนั้น เพื่อเป็นการทดลองใช้ระบบก๊าซเชื้อเพลิง รัฐควรเลือกท้องถิ่นที่มีความพร้อมด้านการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและมีปริมาณขยะชุมชนเมื่อคัดแยกแล้วมีส่วนที่เหมาะสมกับการเผาตั้งแต่ 50 ตัน/วันขึ้นไป พัฒนาโครงการนำร่องในการใช้ระบบก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

กรณีของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อมีอัตราส่วนเพิ่ม โครงการจะเริ่มมีความเป็นไปได้เมื่อมีขนาดที่สามารถรองรับขยะอินทรีย์ตั้งแต่ 100 ตัน/วันขึ้นไป แต่ในกรณีที่โครงการสามารถจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเป็นผลผลิตของระบบในอัตรา 2,000 บาท/ตัน ขนาดของโครงการที่เป็นไปได้จะลดลงโดยเริ่มจากที่สามารถรองรับขยะอินทรีย์ 50 ตัน/วันดังแสดงในภาพ 4.22



ภาพที่ 4.22 อัตราส่วนเพิ่ม (adder) ช่วยให้การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความเป็นไปได้เมื่อขนาดของโครงการสามารถรองรับขยะอินทรีย์ได้ 100 ตัน/วัน โดยมีรายได้จากการจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1,000 บาท/ตัน และค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะชุมชนเท่ากับ 385 บาท/ตัน

ผลของนโยบายสนับสนุนของรัฐโดยกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงประเภทขยะชุมชนในอัตรา 2.50 บาท/KW-ชั่วโมง ช่วยให้ลดขนาดของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนที่เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ โดยเริ่มจากขนาดที่สามารถรองรับขยะชุมชนตั้งแต่ 50 ตัน/วัน (ภาพที่ 4.23) ทำให้จำนวนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 64 แห่งมีปริมาณขยะชุมชนที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 15,000 ตัน/วันหรือ 35% ของปริมาณขยะชุมชนที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ



ภาพที่ 4.23 ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความเป็นไปได้ เมื่อมีขนาดสามารถรองรับขยะอินทรีย์ 50 ตัน/วันขึ้นไป มีรายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน 385 บาท/ตัน ราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.00 บาท/หน่วย และส่วนเพิ่มของราคาจำหน่ายอีก 2.50 บาท/หน่วย และราคาจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 2,000 บาท/ตัน

4.5 แบบจำลองการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีภาระความรับผิดชอบตามกฎหมายในงานด้านการจัดการขยะชุมชน ดังนั้น ในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนท้องถิ่นจะต้องเกี่ยวข้องอย่างน้อยที่สุดในฐานะเจ้าของโครงการ แบบจำลองการพัฒนาโครงการนี้จะช่วยให้ท้องถิ่นเข้าใจถึงรูปแบบการจัดการและการเลือกกระบวนการทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมรวมถึงขั้นตอนและปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

4.5.1 ความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

อุปสรรคในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีอย่างน้อย 2 ประการที่จะต้องแก้ไขก่อนที่จะตัดสินใจลงมือพัฒนาโครงการ อุปสรรคทั้งสองประการได้แก่

ประการแรก การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด : การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยกระบวนการทางความร้อน เช่น ระบบเตาเผา (Incineration) และระบบก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) และกระบวนการชีวเคมีด้วยระบบการหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) จะมีประสิทธิภาพได้เมื่อการจัดการขยะชุมชนมีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดเพื่อให้ขยะในส่วนที่จะนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางความร้อนมีค่าความร้อนที่

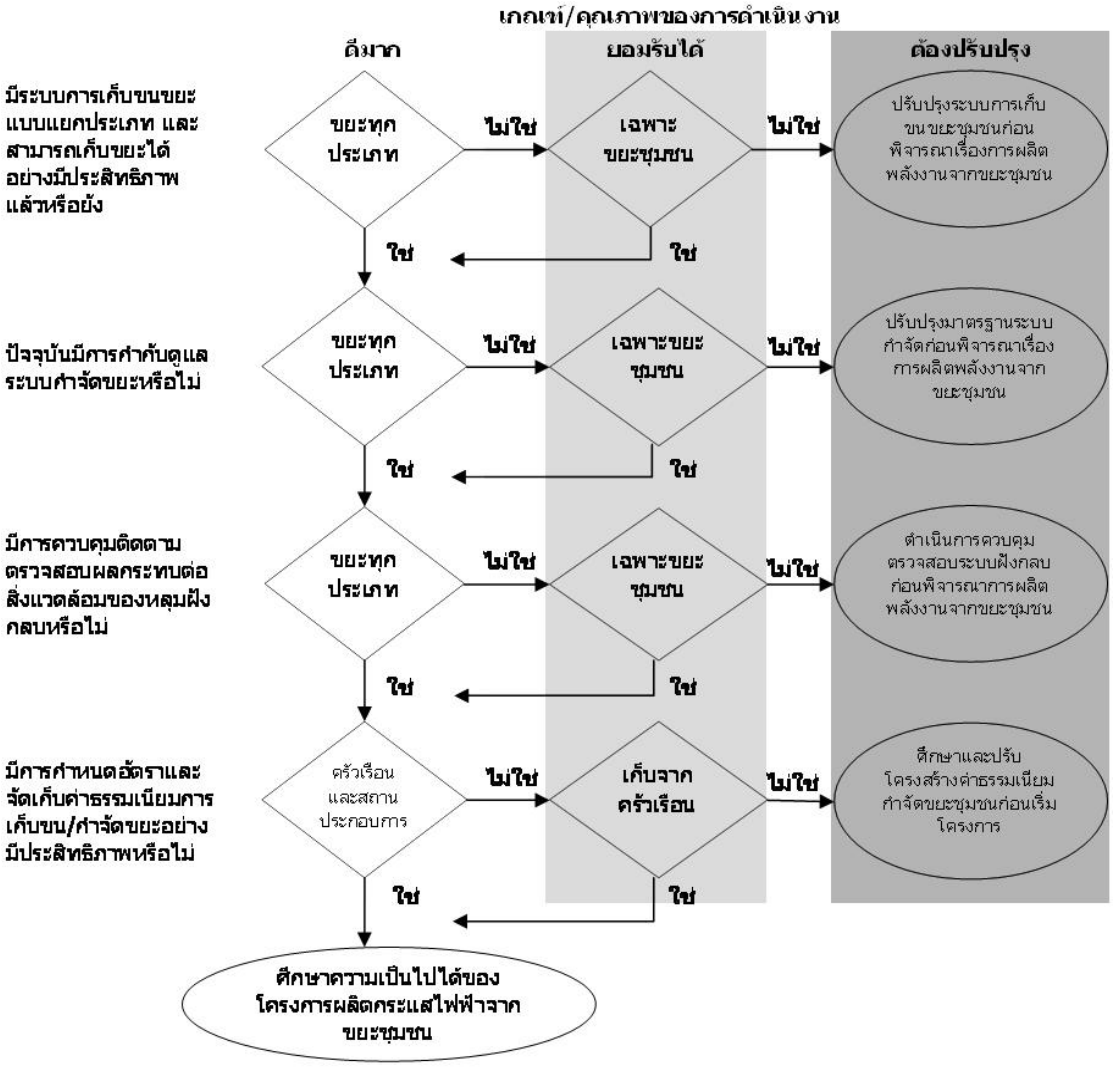
เหมาะสมซึ่งควรมีค่าประมาณ 1,800 Kcal/kg และจะต้องไม่ต่ำกว่า 1,400 Kcal/kg ส่วนขยะที่นำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนควรเป็นขยะอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่

การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดจะเกิดขึ้นได้เมื่อประชาชนมีส่วนร่วม และท้องถิ่นมีความมุ่งมั่นให้ความรู้ ความเข้าใจแก่ประชาชนอย่างต่อเนื่องพร้อมกับการปรับปรุงระบบเก็บขนขยะแบบแยกประเภทเพื่อให้สามารถนำขยะแต่ละประเภทไปกำจัดด้วยกระบวนการที่เหมาะสม

ประการที่สอง การมีส่วนร่วมของภาคเอกชน : งานก่อสร้างและบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนต้องการบุคลากรที่มีความชำนาญเฉพาะด้านซึ่งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีข้อจำกัดในการพัฒนาหรือจัดหา แนวทางหนึ่งในการแก้ไขจุดอ่อนดังกล่าวคือการมีส่วนร่วมของภาคเอกชนที่สามารถพัฒนาบุคคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านรวมถึงความสามารถในการเข้าถึงแหล่งเงินทุน อย่างไรก็ตาม การมีส่วนร่วมของเอกชนในโครงการใดๆของท้องถิ่นไม่ได้ทำให้ความรับผิดชอบต่อภารกิจนั้นๆหมดไป ท้องถิ่นยังคงมีบทบาทในฐานะเจ้าของโครงการตามกฎหมายและปรับเปลี่ยนบทบาทจากฝ่ายปฏิบัติการไปเป็นฝ่ายควบคุม กำกับดูแลเพื่อให้การดำเนินงานของเอกชนมีประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหลายแห่งให้ความสนใจโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยมุ่งหวังให้โครงการดังกล่าวเข้ามาช่วยแก้ปัญหาการกำจัดขยะชุมชน รวมถึงการที่เอกชนจำนวนมากให้ความสนใจนำเสนอเทคโนโลยีและประสงค์จะร่วมลงทุนในโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยเฉพาะภายหลังจากที่รัฐมีนโยบายสนับสนุนการใช้ขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าโดยกำหนดอัตราส่วนเพิ่มของราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า (Adder) ดังนั้นท้องถิ่นควรมีบรรทัดฐานในการพิจารณาและตัดสินใจเลือกแนวทางการพัฒนาโครงการที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับประสบการณ์การพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศไทย ซึ่งได้แก่ เตาเผาผลิตกระแสไฟฟ้าของจังหวัดภูเก็ต ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของเทศบาลนครระยอง การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบราชาเทวะ และศูนย์กำจัดขยะรวมขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี ทำให้ได้ข้อสรุปที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชุมชน โดยเริ่มต้นจากการตรวจสอบความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นก่อนตัดสินใจพัฒนาโครงการดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 แผนผังเพื่อตรวจสอบความพร้อมของอปท. ก่อนที่จะเริ่มพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

1) <u>การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและการจัดเก็บของท้องถิ่น</u> เป็นปัจจัยสำคัญลำดับแรกต่อความสำเร็จของโครงการ จากกรณีตัวอย่าง เช่นเตาเผาผลิตกระแสไฟฟ้า จังหวัดภูเก็ต ที่ค่าความร้อนของขยะชุมชนลดลงจาก 2,000 Kcal/kg ที่ใช้ในการออกแบบเหลือเพียง 1,300 Kcal/kg เมื่อดำเนินงานจริง ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงจาก 2.5 MW เหลือเพียง 1.6 MW และยังเป็นสาเหตุให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงขึ้น

กรณีของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทศบาลนครระยอง ประสบปัญหาที่ไม่สามารถจัดหาขยะอินทรีย์ป้อนเข้าสู่ระบบที่ออกแบบไว้สำหรับรองรับขยะอินทรีย์ 60 ตัน/วันได้ เป็นผลที่เกิดจากกระบวนการคัดแยกขยะชุมชนจากต้นทางที่ปริมาณขยะชุมชนไม่เพิ่มขึ้นเป็น

ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 5 ปี ปัจจุบันมีปริมาณขยะอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพียง 30% ของความสามารถในการรองรับ ทำให้รายได้ของโครงการไม่เป็นไปตามประมาณการ

ศูนย์กำจัดขยะรวมขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรีก่อสร้างขึ้นเพื่อรองรับขยะชุมชนจากท้องถิ่นต่างๆในจังหวัดชลบุรี ประกอบด้วยระบบคัดแยก ระบบหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและพื้นที่ฝังกลบส่วนที่เหลือ แต่เนื่องจากองค์การบริหารส่วนจังหวัดไม่มีหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะชุมชนโดยตรง จึงไม่สามารถผลักดันกระบวนการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดได้ รวมถึงระบบคัดแยกไม่สามารถคัดแยกองค์ประกอบของขยะชุมชนตามที่ออกแบบไว้ส่งผลให้ระบบหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศล้มเหลวและมีผลกระทบต่อการจัดการทั้งระบบ ปัจจุบันศูนย์กำจัดขยะรวมนี้ปิดการดำเนินงานเพื่อปรับปรุงกระบวนการดำเนินงาน

การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและการปรับปรุงระบบการเก็บขนขยะชุมชนในภาพที่ 4.25 จึงเป็นกิจกรรมพื้นฐานที่ท้องถิ่นจะต้องให้ความสำคัญก่อนที่จะพิจารณาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 4.25 การคัดแยกขยะชุมชนจากต้นทางและระบบจัดเก็บแยกประเภทเป็นปัจจัยพื้นฐานของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

2) <u>การกำกับดูแลระบบกำจัดขยะชุมชน</u> โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีความซับซ้อนมากกว่าการบริหารดำเนินการระบบกำจัดขยะชุมชนทั่วไป หากการบริหารดำเนินการโครงการไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดแล้วจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชนที่มากกว่า ในการเตรียมความพร้อมเพื่อเข้าสู่การพัฒนาโครงการท้องถิ่นจะต้องทบทวนว่า ในการบริหารดำเนินการระบบกำจัดขยะชุมชนที่มีอยู่ เช่นสถานที่ฝังกลบได้กำกับดูแลให้เป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ เพื่อให้มั่นใจว่าในโครงการที่ซับซ้อนกว่าอปท. จะสามารถกำกับดูแลได้ เช่น มาตรฐานในการก่อสร้าง มาตรฐานในการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะ

เมื่อต้องการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบเตาเผาหรือก๊าซเชื้อเพลิงที่ต้องให้ความสำคัญกับปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผา

ตัวอย่างเช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นบางแห่งดำเนินการฝังกลบโดยไม่มีการกลบหรือเดินระบบบำบัดน้ำเสียจากขยะ (ภาพที่ 4.26) ด้วยเหตุผลที่ขาดงบประมาณหรือบุคลากรจึงเป็นไปได้ยากที่จะเชื่อว่าเมื่อมีโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเตาเผาแล้ว ท้องถิ่นนั้นจะเดินระบบให้เป็นไปตามมาตรฐานหรือแม้นว่าจะจัดจ้างเอกชนก็เชื่อได้ยากว่าจะสามารถกำกับดูแลให้เอกชนดำเนินงานตามมาตรฐานได้

ภาพที่ 4.26 เป็นไปได้หรือไม่ที่ท้องถิ่นมีการดำเนินการหลุมฝังกลบเช่นนี้จะสามารถบริหารจัดการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต

3) <u>การควบคุมติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานที่ฝังกลบ</u> จากการติดตามตรวจสอบการดำเนินงานสถานที่ฝังกลบของเทศบาล พบว่าแม้ท้องถิ่นบางแห่งให้ความเอาใจใส่ในขั้นตอนการปฏิบัติงาน มีการกลบขยะชุมชนรายวันและเดินระบบบำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐาน แต่กลับไม่มีท้องถิ่นใดเลยที่ดำเนินการติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานของการบริหารจัดการสถานที่ฝังกลบตามช่วงเวลาที่กำหนด เช่น การตรวจสอบคุณภาพของน้ำในบ่อสังเกตการณ์ (Observation Wells) หรือการเก็บตัวอย่างดินหรือน้ำ

การกำหนดให้มีการควบคุมติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานที่ฝังกลบเป็นมาตรการป้องกันและการแก้ปัญหาในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องจากการดำเนินงาน เช่น แผ่นปูกันน้ำเสียชำรุดหรือระบบบำบัดน้ำเสียขัดข้อง การติดตามตรวจสอบตามช่วงเวลาที่กำหนดจะช่วยให้ท้องถิ่นป้องกันไม่ให้ผลกระทบขยายพื้นที่และความรุนแรงออกไป

ความเอาใจใส่ในกระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องสร้างขึ้นให้เป็นวัฒนธรรมของการทำงานและการคำนึงถึงชีวิตและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วย

เตาเผาอาจส่งผลกระทบได้รวดเร็วและกว้างขวาง หากท้องถิ่นยังไม่พร้อมในการควบคุมติดตามตรวจสอบย่อมหมายถึงความไม่พร้อมในพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนที่มีประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าหรือผลพลอยได้อื่นๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ในกรณีที่ใช้ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่รายได้ดังกล่าวไม่สามารถครอบคลุมต้นทุนการลงทุนและต้นทุนดำเนินการ โครงการยังต้องการรายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชนดังที่ได้นำเสนอไปแล้ว ซึ่งต้นทุนดังกล่าวโดยทั่วไปจะสูงกว่าต้นทุนของระบบกำจัดขยะชุมชนแบบฝังกลบ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหลายแห่งไม่ให้ความสนใจต่อการจัดเก็บค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน บางแห่งเก็บได้เพียง 10% ของจำนวนค่าธรรมเนียมที่ควรจัดเก็บได้และใช้งบประมาณส่วนอื่นในการจัดการกับระบบกำจัดขยะชุมชน มีผลต่อประสิทธิภาพในการดำเนินงานจนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต กลายเป็นปัญหาด้านการจัดการขยะชุมชนที่ประชาชนไม่ยอมรับอยู่ในปัจจุบัน

กรณีของการบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนแตกต่างไปจากระบบฝังกลบที่เมื่อขาดงบประมาณ ท้องถิ่นอาจเลือกที่จะไม่กลบรายวันหรือไม่เดินระบบบำบัดน้ำเสีย แต่การไม่เดินระบบส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าอาจนำไปสู่ความล้มเหลวทั้งระบบหรือการเกิดมลภาวะที่รุนแรงและรวดเร็ว ดังนั้น เมื่อการตัดสินใจที่จะพัฒนาโครงการท้องถิ่นต้องมั่นใจว่าจะต้องมีงบประมาณเพียงพอกับการบริหารดำเนินการและการบำรุงรักษาระบบซึ่งการจัดเก็บค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้การบริหารการเงินของโครงการมีหลักประกัน

นอกจากนั้น การจัดเก็บค่าธรรมเนียมยังมีนัยสำคัญในแง่ของการจัดการขยะชุมชนตามหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter Pay Principle) เป็นมาตรการควบคุมอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะชุมชนไม่ให้มากเกินขีดความสามารถในการจัดการของท้องถิ่น รวมถึงเป็นเครื่องมือสนับสนุนกระบวนการแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะแต่ละประเภท

การตรวจสอบความพร้อมใน 4 ประเด็นข้างต้นจะช่วยให้ท้องถิ่น พิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน และหากมีความมุ่งมั่นในการพัฒนาโครงการ ควรต้องคำนึงถึงประเด็นใดบ้างจากนั้นจึงเข้าสู่เลือกระบบหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมพร้อมกับการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน

4.5.2 ระบบเทคโนโลยีที่เหมาะสม

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานสามารถแบ่งตามกระบวนการได้ 3 หมวด ได้แก่ กระบวนการที่ใช้ความร้อน (Thermal Conversion Process) กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) และกระบวนการทางกายภาพ (Physical Conversion Process) สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพิจารณากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนั้น กระบวนการทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยการแปรรูปขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel-RDF) จะเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการทางความร้อนโดยไม่กล่าวถึงรายละเอียดในการผลิตเชื้อเพลิงขยะเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม

จากรายละเอียดที่ได้เสนอในบทที่ 2 และประสบการณ์โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศไทยสามารถสรุปเทคโนโลยีที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสถานภาพการจัดการขยะชุมชนของท้องถิ่นในปัจจุบันได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สรุปเทคโนโลยีทางความร้อน (Thermal Conversion Process) ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสถานภาพการจัดการขยะชุมชนของท้องถิ่น

	เทคโนโลยี	รายละเอียด	ความเห็น/ข้อเสนอ
กระบวนการทางความร้อน	ระบบเตาเผา (Incineration)	ระบบเตาเผาขยะชุมชนมี 2 ประเภทตามลักษณะการทำงาน ได้แก่ Stoker Grate และ Fluidized Bed มีประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าประมาณ 15%-25%	☑ เป็นระบบที่พัฒนาและใช้งานเชิงพาณิชย์มานาน มีข้อมูลผลการดำเนินงานและต้นทุนที่อ้างอิงได้ ☑ การบำรุงรักษาไม่ซับซ้อนสามารถพัฒนาบุคลากรเพื่อบริหารจัดการระบบได้ง่าย ☑ เหมาะสมที่จะนำมาใช้ โดยควรให้เอกชนมีส่วนร่วมในการลงทุนและดำเนินงาน
	ระบบก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification)	เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 40% มีความอ่อนไหวกับความชื้นของขยะชุมชน	☑ มีข้อมูลด้านการจัดการและบำรุงรักษาไม่มาก ข้อมูลด้านต้นทุนการลงทุนและดำเนินงานไม่ชัดเจน ☑ ขาดบุคลากรที่ชำนาญการในการบริหารจัดการกับเทคโนโลยี ☑ รัฐควรสนับสนุนโครงการนำร่องโดยคัดเลือกท้องถิ่นที่สามารถคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและมีปริมาณ

เทคโนโลยี	รายละเอียด	ความเห็น/ข้อเสนอ
		ขยะที่มีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 1,800 Kcal/kg ป้อนเข้าสู่ระบบไม่น้อยกว่า 50 ตัน/วัน
ระบบพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)	เป็นเทคโนโลยีด้านพลังงานขั้นสูงที่ใช้ในการกำจัดขยะชุมชนมีอุณหภูมิในห้องเผาสูงประมาณ 5,000-15,000 °C เพื่อนำก๊าซที่เกิดขึ้นไปผลิตเป็นพลังงานกระแสไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine)	☑ การใช้งานกับขยะชุมชนยังไม่แพร่หลายมากนัก ยังอยู่ในขั้นของการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งระบบขนาดใหญ่ (Commercial Scale) ยังมีไม่มากนัก ☑ มีข้อจำกัดเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้างห้องปฏิกรณ์ซึ่งต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความร้อนสูงได้ หรือมีระบบฉนวนป้องกันความร้อนที่เพียงพอต่อการทำงานของระบบ ☑ เนื่องจากปัญหาค่าลงทุนในการก่อสร้างระบบค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงไม่มีความคุ้มทุนการใช้งานสำหรับระบบขนาดเล็ก ☑ ควรติดตามพัฒนาการทางเทคโนโลยีหรือทดลองใช้งานในเชิงงานวิจัย

ด้วยเงื่อนไขขีดความสามารถในการจัดการและสถานะทางการเงินของท้องถิ่น การเลือกเทคโนโลยีเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยกระบวนการทางความร้อน ควรพิจารณาระบบเตาเผา (Incineration) เป็นลำดับแรก ส่วนระบบก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) แม้ว่าจะให้ประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานที่สูงกว่าระบบเตาเผา แต่ยังคงมีปัจจัยเสี่ยงในการใช้เทคโนโลยี ดังนั้น รัฐควรจัดทำโครงการนำร่องการใช้ระบบก๊าซเชื้อเพลิงโดยเลือกองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีระบบคัดแยกและสามารถจัดหาขยะชุมชนที่มีค่าความร้อนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 1,800 Kcal/kg ในปริมาณไม่น้อยกว่า 50 ตัน/วัน เพื่อเป็นการเรียนรู้ข้อมูลทางเทคโนโลยีและต้นทุนที่แท้ (Real Cost) ของการลงทุนและการดำเนินการก่อนที่จะขยายการใช้เทคโนโลยีนี้ไปยังท้องถิ่นอื่น

ส่วนกรณีของระบบพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) รัฐควรให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องติดตามศึกษาเพื่อรวบรวมข้อมูลด้านเทคโนโลยี จนกว่าเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาเชิงพาณิชย์ที่สมบูรณ์

ตารางที่ 4.10 สรุปเทคโนโลยีทางชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสถานภาพการจัดการขยะชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

	เทคโนโลยี	รายละเอียด	ความเห็น/ข้อเสนอ
กระบวนการทางชีวเคมี	ระบบก๊าซจากหลุมฝังกลบ(Landfill Gas)	เป็นการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารในหลุมฝังกลบที่มีปริมาณขยะชุมชนสะสมไม่น้อยกว่า 500,000 ตันเป็นระยะเวลา 7-10 ปี	☑ ไม่มีสถานที่ฝังกลบของท้องถิ่นใดมีศักยภาพในการรวบรวมก๊าซชีวภาพ เว้นแต่กองขยะของกรุงเทพมหานครที่มีปริมาณขยะชุมชนสะสมมากกว่าล้านตัน แต่ไม่สามารถประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพได้ชัดเจน ☑ หลุมฝังกลบจะต้องออกแบบและดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานเพื่อการรวบรวมก๊าซชีวภาพ ☑ ต้องเป็นหลุมฝังกลบที่รองรับปริมาณขยะชุมชนตั้งแต่ 100 ตัน/วันขึ้นไป
	ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน(Anaerobic Digestion)	การหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และกากที่เหลือจากการย่อยใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์	☑ ประสิทธิภาพของระบบขึ้นกับคุณภาพของขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ดังนั้น การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดเป็นปัจจัยสำคัญของโครงการ ☑ ต้นทุนในการลงทุนจะลดลงหากการคัดแยกและการเก็บขนมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องลงทุนเครื่องจักรเพื่อการคัดแยก ☑ เป็นระบบที่ใช้งานแล้วที่เทศบาลนครระยอง และมีการพัฒนาการใช้งานให้ดีขึ้นสำหรับโครงการต่อๆไป

ระบบกำจัดแบบฝังกลบยังคงมีความจำเป็นในการกำจัดขยะส่วนที่เหลือจากขั้นตอนการกำจัดขยะชุมชนด้วยระบบต่างๆ โดยทำหน้าที่เป็นระบบกำจัดขั้นตอนสุดท้าย (Final Disposal) ดังนั้น การก่อสร้างสถานที่ฝังกลบจึงควรคำนึงถึงการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ในอนาคต ปัจจุบันศักยภาพในการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้มีเพียงกองขยะชุมชนขนาดใหญ่ของกรุงเทพมหานครเท่านั้น

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนที่มีสัดส่วนของขยะอินทรีย์มากกว่า 50% เป็นระบบที่มีการดำเนินงานแล้วที่เทศบาลนครระยอง โดยท้องถิ่นที่สนใจสามารถนำเอารูปแบบการจัดการและรายละเอียดของระบบมาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้ และหาก พัฒนาการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดให้มีประสิทธิภาพจะช่วยให้ต้นทุนการลงทุนและการดำเนินงานของระบบลดลงด้วย

กระบวนการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนซึ่งจะได้นำเสนอการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในลำดับต่อไป

4.5.3 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน

เพื่อเป็นแบบจำลอง (Model) ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน โดยเปรียบเทียบผลตอบแทนของโครงการเมื่อการจัดการขยะชุมชนของท้องถิ่นไม่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดและเลือกใช้ระบบเตาเผาในการกำจัดขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้า กับกรณีที่ท้องถิ่นมีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและเลือกใช้ระบบผสมผสานโดยใช้เตาเผาสำหรับขยะชุมชนที่เหมาะสำหรับการเผาและระบบหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับขยะอินทรีย์

แบบจำลองการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ กรณีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีปริมาณขยะชุมชน 100 ตัน/วัน มีองค์ประกอบของขยะชุมชนเท่ากับค่าเฉลี่ยของประเทศตามที่อ้างถึงในตารางที่ 4.1

กรณีไม่มีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด	
ใช้ระบบเตาเผาขนาด 110 ตัน/วันในการกำจัดขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้า	
● ปริมาณขยะชุมชนที่เข้าสู่ระบบเตาเผา	92.185 ตัน/วัน
องค์ประกอบของขยะชุมชน	
▪ *ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้*	*61.43%*
▪ *กิ่งไม้ ใบไม้*	*0.62%*
▪ *ขยะรีไซเคิล*	*22.61%*
▪ *ขยะอันตราย*	*0.22%*
▪ *ขยะอื่นๆ*	*15.19%*
● ค่าความร้อนของขยะชุมชนตามสูตรของดูลอง	1,359 Kcal/kg
● ปริมาณขยะที่คัดทิ้งก่อนเข้าเตาเผา	7.82%
● อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะชุมชน	2%ต่อปี
● ขนาดของเตาเผา	110 ตัน/วัน
● ระยะเวลาของโครงการ	20 ปี
● ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	2 ปี
● อัตราคิดลด(Discount Rate)	5%
● อัตราเงินเฟ้อ(Inflation Rate)	2%
● ต้นทุนในการลงทุนเตาเผาขนาด 110 ตัน/วัน	440 ล้านบาท
● ต้นทุนบุคลากรในปีแรก	3.30 ล้านบาท
● ต้นทุนในการดำเนินงาน/บำรุงรักษา	2.5% ของงบลงทุน
● รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน	385 บาท/ตัน
● รายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า	2.00 บาท/KW-ชั่วโมง

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return of Project) เท่ากับ -1.48%

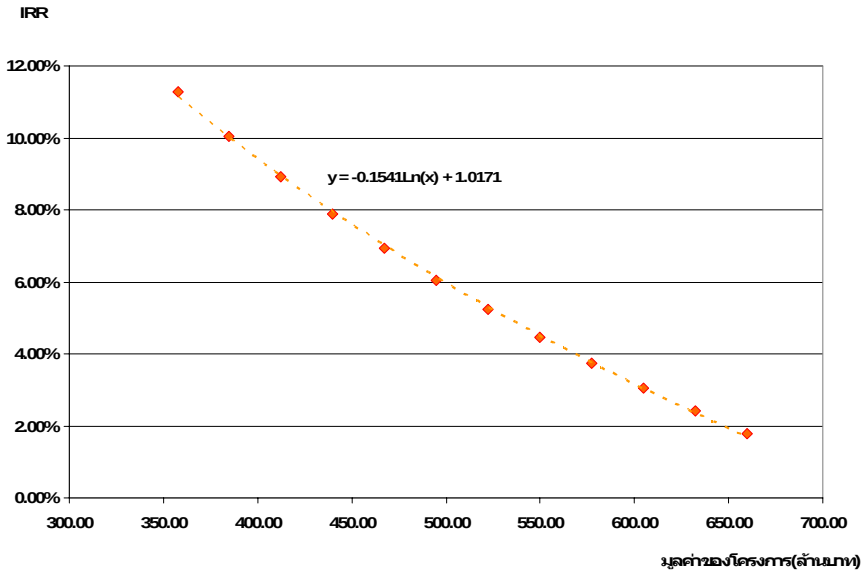
กรณีที่มีอัตราส่วนเพิ่มราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า อัตราผลตอบแทนของโครงการเท่ากับ 7.88%

การลงทุนระบบเตาเผาเพื่อกำจัดขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้าโดยกำหนดขนาดของเตาเผาให้สามารถรองรับปริมาณขยะชุมชนได้ 110 ตัน/วัน เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณขยะชุมชนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปีได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ผลตอบแทนของโครงการในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 1.48% ดังแสดงในภาพที่ 4.27 หมายความว่าเป็นโครงการที่ไม่ควรจะลงทุนเว้นแต่จะมีเหตุผลด้าน

สิ่งแวดล้อมซึ่งท้องถิ่นจะต้องศึกษามูลค่าของการที่ต้องมีโครงการเพื่อรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน

เมื่อเพิ่มรายได้ของโครงการจากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าโดยใช้อัตราส่วนเพิ่มราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้าตามนโยบายการสนับสนุนของรัฐ โดยสามารถจำหน่ายในอัตรา 4.50 บาท/KW-ชั่วโมง มีผลให้ผลตอบแทนของโครงการเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในระดับที่น่าพอใจ 7.88%

กรณีที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นปรับปรุงระบบการจัดการขยะชุมชนและมีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด ทำให้สามารถจัดประเภทของขยะเข้าสู่ระบบผสมผสานของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของโครงการกับอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) กรณีที่ไม่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดและใช้ระบบเตาเผากำจัดขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้า

กำหนดให้ท้องถิ่นมีประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะอินทรีย์ได้ประมาณ 50% จากนั้นนำส่วนที่เหลือไปกำจัดด้วยเตาเผาและฝังกลบในขั้นตอนสุดท้าย จากการคัดแยกขยะอินทรีย์ทำให้สัดส่วนของขยะอินทรีย์ในขยะชุมชนลดลงและมีผลต่อการดำเนินงาน โดยผลของการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีดังกล่าวมีดังนี้

กรณีที่มีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด

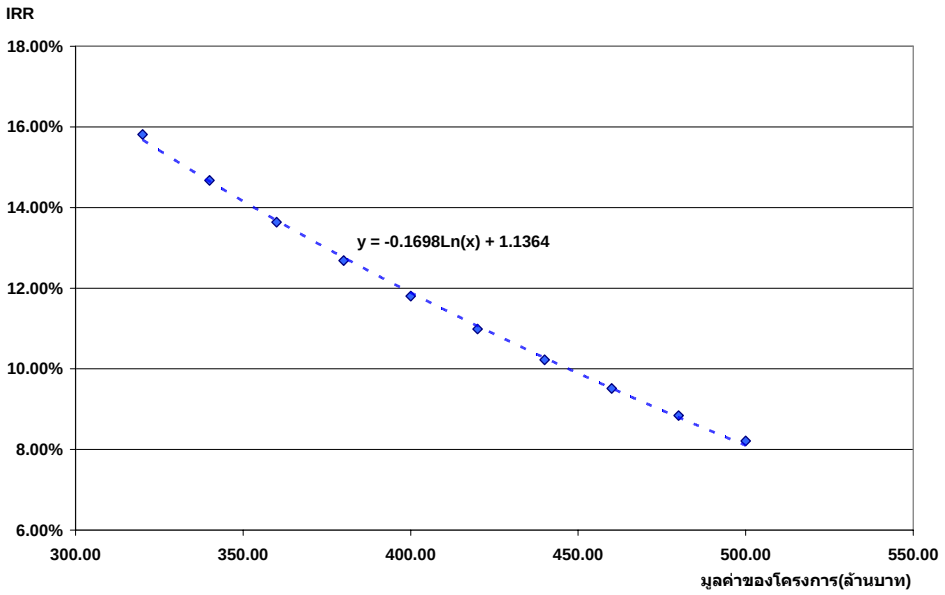
ใช้ระบบเตาเผาขนาด 70 ตัน/วันในการกำจัดขยะที่เผาไหม้

ใช้ระบบหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขนาด 40 ตัน/วันสำหรับกำจัดขยะอินทรีย์

● ปริมาณขยะชุมชนที่เข้าสู่ระบบผสมผสาน	92.185 ตัน/วัน
องค์ประกอบของขยะอินทรีย์	
▪ *ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้*	*44.33%*
▪ *กิ่งไม้ ใบไม้*	*0.89%*
▪ *ขยะรีไซเคิล*	*32.53%*
▪ *ขยะอันตราย*	*0.32%*
▪ *ขยะอื่นๆ*	*21.92%*
● ค่าความร้อนของขยะชุมชนตามสูตรของดูลอง	2,029 Kcal/kg
● ปริมาณขยะที่คัดทิ้งก่อนเข้าเตาเผา	7.82%
● อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะชุมชน	2%ต่อปี
● ขนาดของระบบรวม	110 ตัน/วัน
▪ *ระบบเตาเผาผลิตกระแสไฟฟ้า*	*70 ตัน/วัน*
▪ *ระบบหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน*	*40 ตัน/วัน*
● ระยะเวลาของโครงการ	20 ปี
● ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	2 ปี
● อัตราคิดลด(Discount Rate)	5%
● อัตราเงินเฟ้อ(Inflation Rate)	2%
● ต้นทุนในการลงทุนระบบ	400 ล้านบาท
● ต้นทุนบุคลากรในปีแรก	4.46 ล้านบาท
● ต้นทุนในการดำเนินงาน/บำรุงรักษา	2.5% ของงบลงทุน
● รายได้จากค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน	385 บาท/ตัน
● รายได้จากการขายปุ๋ยอินทรีย์	1,000 บาท/ตัน
● รายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า	2.00 บาท/KW-ชั่วโมง

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return of Project) เท่ากับ 2.12%

กรณีที่มีอัตราส่วนเพิ่มราคาจำหน่ายกระแสไฟฟ้า อัตราผลตอบแทนของโครงการเท่ากับ 11.80%



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของโครงการกับอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) กรณีที่มีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดและใช้ระบบผสมผสานกำจัดขยะชุมชนและผลิตกระแสไฟฟ้า

การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดทำให้ค่าความร้อนของขยะที่นำเข้าสู่ระบบเตาเผาสูงขึ้นและมีความเหมาะสมในการใช้เทคโนโลยี และมีผลให้อัตราผลตอบแทนของโครงการโดยรวมสูงขึ้น (ภาพที่ 4.28) ซึ่งเป็นการยืนยันว่า การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน และช่วยให้โครงการมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้น รายละเอียดการวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงินแสดงใน**ภาคผนวก ฉ**

4.6 การมีส่วนร่วมของภาคเอกชน

เมื่อปัญหาขยะชุมชนทวีความรุนแรงมากขึ้น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมักจะเริ่มต้นการแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มอัตรากำลังบุคลากร การจัดหาเครื่องจักร เครื่องมือและการจัดหางบประมาณเพื่อก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคเพิ่มเติม แต่ในที่สุดผลที่ได้รับไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ซึ่งจะเห็นได้จากระบบกำจัดขยะชุมชนที่ก่อสร้างแล้วในหลายพื้นที่ไม่สามารถบริหารดำเนินการได้ตามมาตรฐาน กระทั่งบางแห่งถูกทิ้งร้างไม่ได้ใช้งาน เหตุผลที่ถูกนำมาอ้างถึงมากที่สุด คือ งบประมาณไม่เพียงพอที่จะบริหารดำเนินการ ขาดความยืดหยุ่นในกฎ ระเบียบหรือข้อบังคับจนไม่สามารถดำเนินการได้ เช่นการจัดซื้อชิ้นส่วนเพื่อซ่อมบำรุง เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว บทบาทของเอกชนจึงได้ถูกนำเสนอเพื่อให้เข้ามาร่วมทำงานโดยเฉพาะกิจกรรมที่ต้องการความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เช่นโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม แม้ว่าบทบาทของเอกชนจะสามารถเข้ามาแก้ไขจุดอ่อนของการทำงานหรือแก้ปัญหาเรื่องงบประมาณได้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องเข้าใจว่าการทำงานของภาคเอกชนมีเป้าหมายให้ได้ผลกำไร ดังนั้น ก่อนที่จะไปสู่การให้เอกชนเข้ามาร่วมทำงานท้องถิ่นต้องทำความเข้าใจในบทบาทของตนและเตรียมความพร้อมในการทำงานร่วมกับเอกชน

4.6.1 เอกชน คือใคร?

เอกชนมีความหมายครอบคลุมถึงบุคคล กลุ่มบุคคล หน่วยงานหรือองค์กรที่ไม่ใช่เจ้าหน้าที่หน่วยงานหรือองค์กรของรัฐหรือท้องถิ่น ไม่ได้รับผลตอบแทนโดยตรง เช่นเงินเดือนจากรัฐหรือท้องถิ่นและมีระบบการทำงาน งบประมาณ บัญชีและการเงินแยกจากระบบของรัฐหรือของท้องถิ่น

1) นิติบุคคลประเภทบริษัท ห้าง ห้างหุ้นส่วน หรือร้านค้าที่จดทะเบียนเพื่อการให้บริการหรือประกอบการ ทั้งขนาดเล็ก เช่น รายบุคคลที่ประกอบอาชีพ จนถึงองค์กรนิติบุคคลขนาดใหญ่

2) หน่วยงานเชิงพาณิชย์ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยงานของรัฐ แต่มีระบบการจัดการ การคลัง บัญชีและการเงินที่แยกออกจากหน่วยงานของรัฐ เช่น หน่วยงานบริการทางวิชาการของมหาวิทยาลัย รัฐวิสาหกิจ หรือบริษัทที่รัฐเป็นเจ้าของ รวมถึงเทศพาณิชย์ที่อปท. จัดตั้งขึ้นตาม พ.ร.บ.เทศบาล พ.ศ. 2496

3) บริษัทร่วมค้า หรือกิจการร่วมระหว่างบริษัทเอกชนด้วยกันหรือกิจการร่วมระหว่างเอกชนกับบริษัทที่รัฐเป็นเจ้าของ

4) ผู้ประกอบการขนาดเล็กซึ่งรวมถึงกลุ่มชุมชนแม้ไม่ได้จดทะเบียนเป็นนิติบุคคล

5) องค์กรพัฒนาเอกชน (Non-Governmental Organizations) ซึ่งเป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร ทั้งที่เป็นองค์กรจดทะเบียนในประเทศหรือองค์กรที่ได้รับการสนับสนุนจากต่างประเทศ เช่น มูลนิธิ สมาคม สถาบัน เป็นต้น

6) ชมรมหรือชุมชนหรือคณะทำงานชุมชนที่ดำเนินงานโดยได้รับงบอุดหนุนจากรัฐหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

4.6.2 ปัจจัยที่ทำให้ภาคเอกชนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่ทำให้เอกชนทำงานได้อย่างอย่างมีประสิทธิภาพมีทั้งปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในของเอกชนเอง สามารถสรุปได้ดังนี้:-

1) โครงสร้างของตลาดการแข่งขัน ภายใต้โครงสร้างของตลาดการแข่งขันที่เป็นธรรม เอกชนจะยึดถือหลักการให้บริการ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภคหรือลูกค้าเพื่อให้ตนเองสามารถดำรงฐานะในตลาดและชนะการแข่งขันได้ ด้วยหลักการนี้ เอกชนจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพการดำเนินงานของตัวเองตลอดเวลา ส่งผลให้เอกชนสามารถให้บริการที่มีประสิทธิภาพหรือสร้างความพึงพอใจต่อผู้บริโภคมากขึ้นและด้วยต้นทุนที่แข่งขันได้(Competitive) ดังนั้น หากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถกำหนดให้เกิดการแข่งขันได้อย่างแท้จริง ในระยะยาวคุณภาพของการบริการของเอกชนจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) ไม่มีเรื่องการเมืองภายในองค์กร ภายในองค์กรของเอกชนจะไม่มีประเด็นขัดแย้งทางการเมือง เมื่อเทียบกับการทำงานภายในของท้องถิ่นเองที่มักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางการเมืองและส่งผลกระทบต่อองค์กร จึงทำให้เอกชนสามารถบริหารจัดการบุคลากรได้อย่างเหมาะสม และใช้ทรัพยากรทั้งหมดกับการทำงานโดยไม่ต้องกังวลต่อการใช้ทรัพยากรไปในกิจการอื่นๆที่ไม่เกิดประโยชน์โดยตรงต่อองค์กร

3) ความยืดหยุ่นในการทำงาน การบริหารจัดการของเอกชนมีความยืดหยุ่นมากกว่าการบริหารของภาครัฐและท้องถิ่นจึงช่วยให้เอกชนสามารถบริหารจัดการและทำงานได้ดีกว่า

- เอกชนให้ผลตอบแทนและสวัสดิการแก่บุคลากรที่มีความชำนาญเฉพาะด้านมากกว่าและมีแรงจูงใจในการพัฒนาบุคลากร การกำหนดผลตอบแทนและสวัสดิการเอกชนยึดถือประสบการณ์ ประสิทธิภาพในการทำงานเป็นหลัก ซึ่งจะแตกต่างจากระบบของรัฐที่ใช้อายุการทำงานเป็นเกณฑ์
- เอกชนสามารถเลิกจ้างบุคคลที่ไม่มีประสิทธิภาพในการทำงาน แต่รัฐยังต้องให้ทำงานต่อไปแม้ว่าขาดความกระตือรือร้นที่จะทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมขององค์กรด้อยกว่าและมีต้นทุนดำเนินการสูงกว่า
- สามารถปรับระบบหรือช่วงเวลาในการทำงานให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานของแต่ละโครงการได้ดีกว่าระบบของรัฐที่มีแผนการทำงานอย่างตายตัว
- มีความยืดหยุ่นในขั้นตอนการ เช่น การจัดซื้ออะไหล่ หรือการสั่งซ่อมและบำรุงรักษาเครื่องจักร หรือการจัดจ้างผู้รับเหมาช่วงหรือการเช่าเครื่องจักรกล ขณะที่รัฐต้องผ่านขั้นตอนการทำงานที่ใช้เวลา จนอาจก่อให้เกิดปัญหากับการทำงานทั้งระบบ

4.6.3 รูปแบบการมีส่วนร่วมหรือประเภทสัญญา

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นคุ้นเคยกับการจัดจ้างเอกชนด้วยสัญญาจ้างสั้นๆระยะเวลา 1 ปีที่เรียกว่าสัญญาการให้บริการ (Service Contract) ด้วยระยะเวลาที่สั้นเกินไปทำให้เอกชนไม่สามารถจัดหาบุคลากรที่เหมาะสมกับลักษณะของงานได้ รวมถึงไม่สามารถจัดทำแผนการบำรุงรักษาระบบที่เป็นปัญหาสำคัญของการบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

แม้ว่าเอกชนจะมีขีดความสามารถในการลงทุนและบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน แต่เอกชนก็ไม่สามารถพัฒนาโครงการได้เองจำเป็นต้องเข้าร่วมกับท้องถิ่นภายใต้รูปแบบและสัญญาที่เหมาะสมและให้ประโยชน์ร่วมกันทั้งสองฝ่าย

รูปแบบการมีส่วนร่วมระหว่างเอกชนและท้องถิ่น ในปัจจุบันพบว่ามี 5 ลักษณะดังนี้

1) <u>สัญญาการให้บริการ (Service Contract)</u>: การมีส่วนร่วมระหว่างท้องถิ่นและภาคเอกชนในลักษณะนี้ เป็นการทำสัญญาให้เอกชนไปดำเนินการในกิจการของท้องถิ่นในรูปแบบของการว่าจ้าง (Contracting) มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาเรื่องอัตรากำลังเจ้าหน้าที่ท้องถิ่น โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาว่าจ้างระยะเวลาสั้นและวงเงินไม่สูงนัก เอกชนมีความเสี่ยงน้อยและมีขอบเขตความรับผิดชอบจำกัดเพียงแค่การให้บริการตามที่อปท. กำหนด เช่น การว่าจ้างเอกชนทำความสะอาด การว่าจ้างที่ปรึกษา การว่าจ้างทำงานวิจัย การว่าจ้างเก็บค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน เป็นต้น

2) <u>สัญญาจ้างบริหาร (Management Contract)</u>: เป็นการทำสัญญาให้เอกชนเข้ามามีส่วนในการบริหารโครงการหรือระบบสาธารณูปโภค โดยกำหนดค่าจ้างในอัตราคงที่ ในขณะที่ค่าตอบแทนจะแปรผันตามผลการดำเนินงาน เพื่อสร้างแรงจูงใจให้มีการบริการอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นการจัดเก็บค่าธรรมเนียมขยะชุมชนที่กำหนดรายได้ขั้นต่ำที่เอกชนจะต้องจัดส่งแก่ท้องถิ่นและเมื่อสามารถจัดเก็บได้มากขึ้นให้แบ่งรายได้ออกไปตามสัดส่วนที่ตกลงกัน สัญญาลักษณะนี้ให้ความสำคัญกับผลการดำเนินงาน (Performance Contract) ซึ่งจะระบุถึงการลดต้นทุนและเพิ่มรายได้ให้กับโครงการ สัญญาจ้างบริหารโดยทั่วไปจะมีระยะเวลาของสัญญาประมาณ 3-5 ปี และมีการเปิดประมูลสัญญาจ้างบริหารในระยะต่อไปเมื่ออายุสัญญาหมดลง เช่น การจ้างบริหารดำเนินการและการบำรุงรักษาซ่อมแซมระบบกำจัดขยะชุมชน เป็นต้น

กรณีของโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน หากการก่อสร้างระบบเป็นการลงทุนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารดำเนิน ลักษณะของสัญญาที่เหมาะสมควรเป็นสัญญารูปแบบจ้างบริหารที่มีระยะเวลาของสัญญาไม่น้อยกว่า 5 ปี โดยมีรายละเอียดด้านการทำงานและผลตอบแทนตามผลการทำงานที่ทั้งสองฝ่ายจะตกลงกัน

3) <u>สัญญาเช่าโครงสร้างพื้นฐาน (Lease Contract):</u> การเปิดให้เอกชนเข้ามาประมูลโดยมีสถานภาพเป็นผู้เช่าดำเนินการสาธารณูปโภค รับผิดชอบในการบริหารและดำเนินการรวมทั้งการบำรุงรักษา ซึ่งทำให้ท้องถิ่นสามารถถอนตัวจากการให้บริการสาธารณูปโภคนั้นๆ ได้โดยสมบูรณ์ สัญญาเช่าโครงสร้างพื้นฐานโดยส่วนมากแล้ว จะมีอายุสัญญา 10-15 ปี โดยเอกชนที่เข้ามาทำสัญญาเช่าจะระบุผลตอบแทนให้แก่อปท. เพื่อเป็นค่าตอบแทนในการเช่าตลอดอายุของสัญญาเช่า ลักษณะโครงการที่ทำสัญญาในรูปแบบนี้เช่น โครงข่ายสายส่งกระแสไฟฟ้าแรงสูง สถานีรถโดยสาร ท่าอากาศยาน เป็นต้น

มีความเป็นไปได้ที่จะใช้สัญญาเช่าเช่นนี้กับโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน โดยเอกชนเช่าระบบของโครงการและกำหนดค่าตอบแทนให้กับท้องถิ่น อย่างไรก็ตามเอกชนและท้องถิ่นจะต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าธรรมเนียมบริการกำจัดขยะชุมชนที่จะต้องจ่ายให้แก่เอกชนกับค่าเช่าระบบของโครงการ

4) <u>สัญญาสัมปทาน (Concession Agreements):</u> เป็นการเปิดให้เอกชนเข้ามาลงทุนและให้บริการระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานภายใต้ระบบสัมปทาน ในกรณีนี้เอกชนจะเป็นผู้ลงทุนในโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยการให้บริการกำจัดขยะชุมชนแก่ท้องถิ่นและได้รับสิทธิในการบริหารดำเนินการโครงการจนกระทั่งหมดสัญญาสัมปทานซึ่งมักมีระยะเวลาประมาณ 10-30 ปี เมื่อหมดสัญญาลงแล้วทรัพย์สินของโครงการทั้งหมดอาจจะตกเป็นของท้องถิ่นหรือไม่ขึ้นกับเงื่อนไขที่ทั้งสองฝ่ายจะตกลงกัน เอกชนเป็นผู้รับความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการลงทุนและการดำเนินการ รูปแบบสัญญาสัมปทานที่เหมาะสมกับโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีหลายรูปแบบเช่น

4.1) BOT (Build, Operate, Transfer) เป็นสัญญาที่เอกชนรับผิดชอบการก่อสร้างและบริหารจัดการโครงการและโอนความเป็นเจ้าของให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเมื่อสิ้นสุดอายุสัญญา

4.2) BOO (Build, Own, Operate) เป็นสัญญาที่เอกชนไม่ต้องโอนกรรมสิทธิ์ของโครงการให้กับท้องถิ่น แต่ให้สัญญาว่าจะรับบริการกำจัดขยะชุมชนในช่วงระยะเวลาที่กำหนดเพื่อรับประกันรายได้จากการดำเนินการของเอกชน

4.3) BOOT (Build, Own, Operate, Transfer) เอกชนที่สร้างและบริหารจัดการโครงการซึ่งเป็นกรรมสิทธิ์ของเอกชนไปตลอดอายุสัญญา โดยโอนกรรมสิทธิ์ให้แก่ท้องถิ่นเมื่อหมดสัญญา

4.4) BLO (Build, Lease, Own) เอกชนลงทุนก่อสร้างสร้างโครงการและเช่าเพื่อให้ได้สิทธิในการบริหารดำเนินการเมื่อดำเนินงานจนครบอายุสัญญากรรมสิทธิ์ในทรัพย์สินของโครงการจะถูกโอนเป็นของเอกชนแต่สิทธิในการดำเนินการหมดไปตามสัญญา

4.5) BLOT (Build, Lease, Operate, Transfer) เอกชนมีหน้าที่ก่อสร้างโครงการ จากนั้นเช่าทรัพย์สินของโครงการจากท้องถิ่น เพื่อให้ได้สิทธิในการบริหารดำเนินการและโอนกรรมสิทธิ์ให้ท้องถิ่นเมื่อสิ้นสุดสัญญา

4.6) ROT (Rehabilitate, Operate, Transfer) เป็นสัญญาที่เอกชนลงทุนปรับปรุงระบบหรือโครงการที่มีอยู่แล้วให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ จากนั้นจึงเข้าบริหารและบำรุงรักษาโครงการ ในช่วงระยะเวลาตามสัญญาแล้วจึงโอนกรรมสิทธิ์กลับคืนแก่ท้องถิ่นรวมถึงทรัพย์สินที่เกิดจากการปรับปรุงหรือซ่อมแซมเมื่อสิ้นสุดอายุสัมปทาน

4.6.4 การเลือกรูปแบบของสัญญาที่เหมาะสม

โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเกิดขึ้นได้เมื่อท้องถิ่นตัดสินใจพัฒนาโครงการด้านด้านการจัดการขยะชุมชน โดยมีรายละเอียดที่แตกต่างจากกิจการกำจัดขยะชุมชนอื่นๆที่มีภาคการผลิตพลังงานและการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น ในการพิจารณารูปแบบของสัญญาที่เหมาะสมจึงขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการได้แก่

1. โครงสร้างของโครงการ : เนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนเป็นการดำเนินงานต่อเนื่องจากความจำเป็นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องดำเนินงานจัดการขยะชุมชนในพื้นที่ซึ่งมีผลให้มูลค่าการลงทุนของโครงการสูงกว่าการลงทุนในกิจการกำจัดขยะชุมชนทั่วไป สำหรับการลงทุนในโครงการนั้นอาจเป็นการลงทุนของท้องถิ่นเองหรือเป็นการลงทุนของเอกชนหรือเป็นการลงทุนร่วมกันขึ้นกับมูลค่าการลงทุน ความเป็นไปได้ทางการเงินและการตัดสินใจของท้องถิ่น

2. ความพร้อมด้านการกำกับดูแลขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น : แม้ว่าเรื่องการลงทุนและการบริหารดำเนินการหรือโครงสร้างของโครงการเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกรูปแบบของสัญญา แต่สัญญาย่อมกำหนดบทบาท ขอบเขตการดำเนินงานและหน้าที่ของทั้งสองฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อท้องถิ่นเลือกทำสัญญาระยะยาว จะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อการให้บริการด้านการจัดการขยะชุมชนแก่ประชาชนและต้องป้องกันไม่ให้เกิดการผูกขาดโดยเอกชนคู่สัญญา

ดังนั้น ความเข้าใจในบทบาทใหม่ของท้องถิ่นจากเดิมที่เป็นฝ่ายปฏิบัติและดำเนินงานเองทั้งหมดเปลี่ยนเป็นฝ่ายกำกับดูแลเพื่อให้เอกชนดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญา เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง

แม้รูปแบบของสัญญาจะสอดคล้องเหมาะสมกับการร่วมลงทุนและดำเนินงานระหว่างองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเอกชน แต่หากยังไม่มีความพร้อมในการกำกับดูแลให้เอกชนบริหารดำเนินการตามสัญญา ย่อมหมายถึงท้องถิ่นกำลังรองรับความเสี่ยงที่อาจเกิดความผิดพลาดจากการดำเนินงานของเอกชน และอาจส่งผลเชิงลบทั้งในส่วนของคุณภาพในการ

ดำเนินงาน และการเกิดการผูกขาดในกิจการของท้องถิ่นซึ่งล้วนไม่เป็นผลดีต่อประชาชนในระยะยาว ดังนั้น ปัจจัยความพร้อมในการกำกับดูแลของท้องถิ่นจึงมีความสำคัญในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสม แต่หากโครงสร้างของโครงการเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดรูปแบบของสัญญา ท้องถิ่นจะต้องจัดทำแผนเพื่อพัฒนาบุคลากรและองค์กรด้านการบริหารสัญญาให้สามารถกำกับดูแลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์ร่วมกันทั้งสองฝ่าย รูปแบบของสัญญาจะสอดคล้องเหมาะสมกับการร่วมลงทุนและดำเนินงานระหว่างท้องถิ่นและเอกชนแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 รูปแบบของสัญญาจะสอดคล้องเหมาะสมกับการร่วมลงทุนและดำเนินงานระหว่างองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเอกชน

รูปแบบของสัญญาที่เหมาะสม **☑ มีความเหมาะสม** **☒ ไม่เหมาะสม**	**สัญญาการให้บริการ**	**สัญญาจ้างบริหาร**	**สัญญาเช่า**	**สัญญาสัมปทาน**
1. องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นลงทุนก่อสร้างระบบทั้งหมด/เอกชนบริหารดำเนินการ	☒	☑	☑	☒
2. เอกชนลงทุนและบริหารดำเนินการ	☒	☒	☑	☑
3. ร่วมลงทุนและให้เอกชนบริหารดำเนินการ	☒	☑	☑	☑

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายด้าน ได้แก่ นโยบายด้านการจัดการขยะชุมชน นโยบายส่งเสริมพลังงานทดแทนของ ปริมาณและลักษณะสมบัติของขยะชุมชน เทคโนโลยีที่เหมาะสม ความพร้อมด้านการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาโครงการ การลงทุน และการบริหารดำเนินการ รวมถึงการกำกับดูแลในกรณีที่เอกชนในการเข้ามาร่วมลงทุนและดำเนินการ ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปผลการศึกษาตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุปผลการวิจัย

5.1.1 นโยบายและมาตรการส่งเสริมของภาครัฐ

ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤติการณ์ด้านพลังงานที่ชัดเจนซึ่งครอบคลุมถึงการนำขยะชุมชนมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 3 (ปี 2548-2554) ที่มีสาระสำคัญในการบังคับให้โรงไฟฟ้าที่จะสร้างใหม่ต้องพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าประเภทพลังงานทดแทนเพื่อให้กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าประเภทพลังงานทดแทนมีสัดส่วนร้อยละ 4 ของกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมของประเทศ และกำหนดเป้าหมายที่จะส่งเสริมให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนประมาณ 100 MW

ด้านการจัดการขยะชุมชน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้จัดทำแผนจัดการขยะและคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี 2550-2554 โดยเน้นให้มีการบริหารจัดการขยะชุมชนให้สามารถนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด รวมทั้งการเพิ่มการสนับสนุนการแปรรูปขยะชุมชนให้เป็นพลังงานโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต

นโยบายของรัฐเป็นปัจจัยสำคัญในการผลักดันให้มีการนำขยะชุมชนมาผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ทั้งนี้ยังต้องมีการกำหนดเป็นมาตรการส่งเสริมที่เป็นรูปธรรม

5.1.2 ศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

เมื่อพิจารณาจากปริมาณ องค์ประกอบ ลักษณะสมบัติของขยะชุมชนและการบริหารจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พบว่าทางเลือกด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสมในปัจจุบันมี 2 แนวทาง ได้แก่ การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีเตาเผาและการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะอินทรีย์โดยการใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งได้นำเสนอรายละเอียดไว้ในบทที่ 4 โดยปริมาณขยะน้อยที่สุดที่เริ่มทำให้โครงการมีความเป็นไปได้ประมาณ 50 ตัน/วันทั้งนี้ค่าความร้อนของขยะดังกล่าวต้องไม่น้อยกว่า 1,800 Kcal/kg และมีเงื่อนไขมาตรการอุดหนุนค่าไฟฟ้าของภาครัฐดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากผลดังกล่าวทำให้จำนวนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าทั่วประเทศ ประมาณ 64 แห่งเมื่อสามารถพัฒนาโครงการแล้วจะได้กระแสไฟฟ้ารวมประมาณ 175 MW ทั้งนี้ขึ้นกับรายละเอียดของท้องถิ่น การเลือกใช้เทคโนโลยี ข้อมูลเฉพาะท้องถิ่น การมีส่วนร่วมของประชาชนในขั้นตอนต่างๆ ของการจัดการขยะรวมถึงการยอมรับของประชาชนในพื้นที่ก่อสร้าง

การรวมกลุ่มของท้องถิ่น (Clustering) เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มศักยภาพและความเป็นไปได้ของโครงการ ทำให้ปริมาณขยะชุมชนรวมที่เข้าสู่ระบบเพิ่มมากขึ้น นโยบายของรัฐที่สนับสนุนให้ท้องถิ่นรวมกลุ่มจึงเป็นนโยบายที่เหมาะสมโดยเฉพาะเมื่อต้องการให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุนและบริหารดำเนินการโครงการซึ่งต้องการให้โครงการมีขนาดที่สามารถให้ผลตอบแทนที่เหมาะสมได้

5.1.3 เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

เทคโนโลยีในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนแบ่งตามกระบวนการหลักได้ 3 ประเภท ได้แก่ กระบวนการทางความร้อน กระบวนการชีวเคมีและกระบวนการทางกายภาพ โดยเทคโนโลยีเหมาะสมกับลักษณะสมบัติของขยะชุมชนและขีดความสามารถด้านการจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ได้นำเสนอคือระบบเตาเผา (Incinerator) และระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

สำหรับระบบก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งในกระบวนการทางความร้อน แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการแปรรูปพลังงานได้ดีกว่าและให้ผลตอบแทนทางการเศรษฐศาสตร์ที่สูงกว่าระบบเตาเผา แต่เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนและยังไม่มีข้อมูลอ้างอิงด้านการลงทุนและดำเนินการกรณีของขยะชุมชนมากนัก การนำระบบก๊าซเชื้อเพลิงจึงควรเป็นโครงการนำ

ร่องของรัฐ โดยเลือกท้องถิ่นที่มีการคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดเป็นพื้นที่ของโครงการ เมื่อได้ประเมินผลเป็นที่น่าพอใจแล้วจึงขยายผลไปยังองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น

การใช้ประโยชน์จากก๊าซจากหลุมฝังกลบจะต้องเริ่มจากการก่อสร้างและการดำเนินการระบบฝังกลบที่เป็นไปตามมาตรฐาน โดยรัฐควรลงทุนในระบบเพื่อทำการวิจัยตรวจสอบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงในสภาวะการจัดการขยะชุมชนและสิ่งแวดล้อมของประเทศ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของโครงการแทนการใช้ข้อมูลอ้างอิงจากต่างประเทศ

5.1.4 รูปแบบการบริหารจัดการที่เหมาะสม

นอกจากเทคโนโลยีที่เหมาะสมแล้ว ความสำเร็จในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนยังขึ้นปัจจัยด้านการจัดการของท้องถิ่นอีกด้วย โดยการจัดการของท้องถิ่นจะต้องเป็นไปตามหลักการลำดับความสำคัญของการจัดการขยะชุมชน (Waste Management Hierarchy) เริ่มจากการลดและคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดที่เป็นปัจจัยสำคัญในความสำเร็จของการใช้เทคโนโลยี

การมีส่วนร่วมของเอกชน เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้โดยไม่ต้องรอการสนับสนุนด้านงบประมาณจากรัฐหรือการใช้งบลงทุนของท้องถิ่นเองที่มีข้อจำกัด แต่การมีส่วนร่วมของเอกชนย่อมต้องการผลตอบแทนที่เหมาะสมและภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่เป็นธรรม

ประสิทธิภาพในการระดมทุนและการบริหารจัดการที่มีความยืดหยุ่นของเอกชนช่วยแก้ปัญหาที่เป็นข้อจำกัดขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทั้งนี้ ท้องถิ่นจำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนบทบาทของตนเองเพื่อการทำงานร่วมกับเอกชนโดยเข้าใจถึงข้อดีและข้อควรระวังในการทำงานร่วมกับเอกชน ได้แก่

1) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องดำเนินการให้เกิดการแข่งขันอย่างแท้จริงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกรณีการเปลี่ยนมือจากภารกิจที่ดำเนินการโดยท้องถิ่นไปเป็นการผูกขาดโดยเอกชน หากมีการแข่งขันอย่างแท้จริงแล้วในระยะยาวคุณภาพของการบริการของเอกชนจะมีประสิทธิภาพและประชาชนจะได้รับประโยชน์

2) เอกชนสามารถบริหารจัดการบุคลากรได้อย่างเหมาะสมและใช้ทรัพยากรทั้งหมดกับการทำงานโดยไม่ต้องกังวลต่อการใช้ทรัพยากรไปในกิจการอื่นๆที่ไม่เกิดประโยชน์ แตกต่างจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ต้องกังวลกับปัจจัยทางการเมืองด้วย

3) การกำหนดรูปแบบสัญญาที่เหมาะสมจะช่วยให้เอกชนจัดหาบุคลากรที่เหมาะสมกับลักษณะของงานได้ รวมถึงสามารถจัดทำแผนการบำรุงรักษาระบบที่เป็นปัญหาสำคัญของการบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

4) เป้าหมายการทำงานของเอกชนคือการทำกำไร ขณะที่การจัดการขยะชุมชนเป็นภารกิจเพื่อบริการประชาชน การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นผลที่ได้จากระบบที่ใช้ในการกำจัดขยะชุมชน ดังนั้น การกำหนดเงื่อนไขของสัญญาและการกำกับดูแลที่มีดีขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นช่วยให้เอกชนได้รับผลกำไรจากการลงทุนและดำเนินงานภายใต้กรอบการกำกับดูแลที่เหมาะสม ผลที่ได้จะเกิดประโยชน์สูงสุดกับประชาชนและสภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวม

5.2 ข้อเสนอแนะ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีภาระความรับผิดชอบตามกฎหมายในงานด้านการจัดการขยะชุมชนและจะต้องเกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนอย่างแน่นอนอย่างน้อยที่สุดในฐานะเจ้าของโครงการ ผู้วิจัยจึงได้จัดทำแนวทางให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้าใจถึงรูปแบบการจัดการและการเลือกกระบวนการทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมรวมถึงขั้นตอนและปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน ดังนี้

5.2.1 ปัจจัยสำคัญในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ได้แก่

1) การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิด : การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยกระบวนการทางความร้อน เช่น ระบบเตาเผา (Incineration) และระบบก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) และกระบวนการชีวเคมีด้วยระบบการหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) จะมีประสิทธิภาพได้เมื่อมีการคัดแยกจากแหล่งกำเนิด เพื่อให้ขยะที่จะนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางความร้อนมีค่าความร้อนที่เหมาะสมประมาณ 1,800 Kcal/kg และจะต้องไม่ต่ำกว่า 1,400 Kcal/kg ส่วนขยะที่นำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบหมักย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องเป็นขยะอินทรีย์

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องจัดทำแผนงานในการให้ความรู้ ความเข้าใจแก่ประชาชนอย่างต่อเนื่องพร้อมกับการปรับปรุงระบบเก็บขนขยะแบบแยกประเภทเพื่อให้สามารถนำขยะแต่ละประเภทไปกำจัดด้วยกระบวนการที่เหมาะสม

2) การมีส่วนร่วมของเอกชน : องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีข้อจำกัดในการลงทุนก่อสร้างและบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน การมีส่วนร่วมของเอกชนที่มีความสามารถในการเข้าถึงแหล่งเงินทุนและพัฒนาบุคลากรที่เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ช่วยให้สามารถพัฒนาโครงการขึ้นได้ อย่างไรก็ตามแม้จะมีเอกชนเข้าร่วมแต่ไม่ได้หมายความว่าความ

รับผิดชอบต่อภารกิจการจัดการขยะชุมชนของท้องถิ่นหมดไป ท้องถิ่นยังคงมีบทบาทในฐานะเจ้าของโครงการตามกฎหมายและปรับเปลี่ยนบทบาทจากฝ่ายปฏิบัติการไปเป็นฝ่ายควบคุม กำกับดูแลเพื่อให้การดำเนินงานของเอกชนมีประสิทธิภาพและประชาชนได้ประโยชน์

5.2.2 การตรวจสอบความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นก่อนตัดสินใจพัฒนาโครงการดังนี้

1) กิจกรรมพื้นฐานที่ท้องถิ่นจะต้องให้ความสำคัญก่อนที่จะพิจารณาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ การคัดแยกขยะชุมชนจากแหล่งกำเนิดและการปรับปรุงระบบเก็บขนให้สอดคล้องกับการคัดแยกและระบบกำจัด

2) โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนมีความซับซ้อนกว่าโครงการด้านบริหารดำเนินการระบบกำจัดขยะชุมชนทั่วไป หากการบริหารดำเนินการโครงการไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดแล้วจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องทบทวนว่า ในการบริหารดำเนินการระบบกำจัดขยะชุมชนในปัจจุบัน เช่นสถานที่ฝังกลบได้กำหนดวิธีการกำกับดูแลให้การทำงานเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ เพื่อให้มั่นใจว่าหากพัฒนาโครงการที่ซับซ้อนกว่าแล้ว ท้องถิ่นจะสามารถกำกับดูแลปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้

3) การควบคุมติดตามการตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานที่ฝังกลบ การกำหนดให้มีการควบคุมติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสถานที่ฝังกลบเป็นมาตรการป้องกันและการแก้ปัญหาในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องจากการดำเนินงาน เช่น การตรวจสอบแก้ไขแผ่นปูกันน้ำเสียในพื้นที่ฝังกลบหรือการตรวจสอบ แก้ไขระบบบำบัดน้ำเสีย การติดตามตรวจสอบตามช่วงเวลาที่กำหนดจะช่วยให้ท้องถิ่นป้องกันไม่ให้ผลกระทบขยายพื้นที่และความรุนแรงออกไป เป็นการสร้างระเบียบวิธีการทำงานที่คำนึงถึงคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม หากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดำเนินการดังกล่าวแล้วแสดงว่ามีความพร้อมในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

4) การจัดเก็บค่าธรรมเนียมกำจัดขยะชุมชน การบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนแตกต่างไปจากระบบฝังกลบที่เมื่อขาดงบประมาณ ท้องถิ่นอาจเลือกที่จะเข้มงวดในการดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานได้บ้าง เช่นลดความถี่ในการกลบหรือลดความหนาของชั้นดินกลบ แตกต่างไปจากการบริหารดำเนินการโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต้องดำเนินการตามขั้นตอนอย่างเข้มงวด ซึ่งหากไม่ดำเนินการบางส่วนเนื่องจากขาดงบประมาณอาจ

นำไปสู่ความล้มเหลวทั้งระบบหรือการเกิดมลภาวะที่รุนแรงและรวดเร็ว ดังนั้น ท้องถิ่นต้องมั่นใจว่าจะต้องมีงบประมาณเพียงพอกับการบริหารดำเนินการและการบำรุงรักษาระบบ

การจัดเก็บค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้การบริหารการเงินของโครงการมีหลักประกัน

การตรวจสอบความพร้อมใน 4 ประเด็นข้างต้น จะช่วยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน และหากมีความมุ่งมั่นในการพัฒนาโครงการ ท้องถิ่นควรต้องคำนึงถึงประเด็นใดบ้างจากนั้นจึงเข้าสู่เลือกระบบหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมพร้อมกับการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน

5.2.3 การลงทุนในโครงการ

เนื่องจากโครงการด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนจะมีต้นทุนในการลงทุนสูงกว่าการลงทุนก่อสร้างระบบกำจัดขยะชุมชนเพียงอย่างเดียว แต่โครงการอาจมีอัตราผลตอบแทนที่สูงกว่าจึงมักจะมีแหล่งเงินทุนที่ให้ความสนใจสนับสนุนโครงการประเภทนี้มากกว่าโครงการก่อสร้างระบบกำจัดขยะชุมชนทั่วไป

ในกรณีที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องการลงทุนในโครงการโดยการขอรับการสนับสนุนจากรัฐ สามารถกระทำได้โดยการจัดทำข้อเสนอโครงการตามแนวทางการจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับจังหวัด ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยท้องถิ่นสามารถขอรับการสนับสนุนด้านงบประมาณเพื่อการลงทุนก่อสร้างระบบทั้งหมด แต่อาจต้องมีส่วนสมทบโดยงบประมาณของท้องถิ่นเองจำนวนหนึ่ง

กรณีที่มีระบบกำจัดขยะชุมชนอยู่แล้วและต้องการปรับปรุงเพื่อก่อสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ท้องถิ่นสามารถจัดทำข้อเสนอเพื่อขอรับการสนับสนุนตามแผนปฏิบัติการข้างต้น หรือการขอรับการสนับสนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อม สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหรือจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ในกรณีที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นประสงค์จะให้เอกชนลงทุนหรือร่วมลงทุนควรศึกษาขั้นตอนและรายละเอียดจากคู่มือการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำเสียและขยะชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคเอกชน จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (http://www.onep.go.th/download.asp)

5.2.4 ความสัมพันธ์ของนโยบายด้านการจัดการขยะชุมชนและนโยบายสนับสนุนพลังงานทดแทน

กระทรวงพลังงานได้ผลักดันนโยบายเพื่อสนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน โดยการรับซื้อกระแสไฟฟ้าด้วยอัตราส่วนเพิ่มของราคา (Adder) ทำให้โครงการมีความเป็นไปได้สูงขึ้น แต่ในด้านการจัดการขยะชุมชน การจัดการขยะชุมชนจะเริ่มจากมาตรการลดการเกิดขยะจากแหล่งซึ่งประกอบด้วยการใช้มาตรการสมัครใจหรือที่เรียกว่ากระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน และมาตรการทางเศรษฐศาสตร์และกฎหมายซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะมีกฎหมายที่จะสนับสนุนการลดปริมาณขยะที่เกิดจากบรรจุภัณฑ์ และสนับสนุนการใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนได้

นโยบายหรือมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมย่อมก่อผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมโดยสามารถลดปริมาณขยะชุมชนได้แต่อาจมีผลกระทบต่อปริมาณขยะชุมชนที่จะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นแล้วในหลายประเทศ อย่างไรก็ตาม หากรัฐสามารถกำหนดระยะเวลาการบังคับใช้นโยบาย มาตรการหรือกฎหมายต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะชุมชนได้ท้องถิ่นจะสามารถประเมินผลกระทบต่อขนาดและรูปแบบของโครงการด้านการจัดการขยะชุมชนและการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนได้ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายจากการลงทุนของท้องถิ่นหรือของภาคเอกชน

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและกระทรวงพลังงานควรจัดทำนโยบายและแผนงานการสนับสนุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนร่วมกัน

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ, **แผนการจัดการขยะมูลฝอยแห่งชาติ** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ, **แผนการจัดการน้ำเสียชุมชน** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ, **แผนฟื้นฟูและปรับปรุงระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนทั่วประเทศ**, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2546

กรมควบคุมมลพิษ, **โครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศ** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2547

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, **การประเมินเทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับประเทศไทย**, คณะทำงานร่วม กระทรวงวิทยาศสาตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, **การศึกษาและสาธิตการผลิตไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน** กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2548

ผลการประชุมคณะรัฐมนตรี วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2548 ข่าวที่ 02/22-1, [Online], Available: http://www.dwr.go.th/cabinet/cab220248.doc [18 มิถุนายน 2548]

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, **โครงการติดตามและประเมินผลการจัดการขยะมูลฝอยและน้ำเสียชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น**, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2547

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, **โครงการนำร่องการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำเสียและขยะมูลฝอยชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคเอกชน,** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2548

B. Catherine, et al, **Plasma Arc Treatment of Municipal and Hazardous Wastes** Institute of Technology -Georgia Tech Research Institute

Blue Ridge Environmental Defense League Report, **Waste Gasification Impact on The Environment and Public Health**, 2002

E. Mike, **Primer on Landfill Gas as "Green" Energy**, 1999

IEA Bioenergy, **Annual Report**, 2005

Juniper Consultant Service Ltd., **The Market for Pyrolysis and Gasification of Waste in Europe**, Uley, Glouchestershire (UK), 1997

K. Sudhir, **Technology options for municipal solid waste-to-energy project,** TERI Information Monitor on environmental Science, Vol.5, 2000

P. Vandevivere et al., **Types of anaerobic digesters for solid waste**

R. B. William et, al, **Solid waste conversion: A review and database of current and emerging technology**, Interagency Agreement – IWM-C0172 California Integrated Waste Management Waste Management Board, 2003

RISE-AT, **Review of Current status of Anaerobic Digestion Technology for Treatment of municipal Solid Waste**, 1998

The Chartered Institution of Waste Management, **Energy from Waste: A good practice guide**, 2003

S. Kai Sipilä, **Municipal and commercial solid waste for pyrolysis (oils) and gasification markets**, 2002

SMUD (Advanced Renewable and Distributed Generation Program), **Feasibility of Generating Green Power through Anaerobic Digestion of Garden Refuse from the Sacramento Area**, 2005

URS Corporation, **Evaluation of Alternative Solid Waste Processing Technologies", City of Los Angle Les, Department of Public Works**, Bureau of Sanitation, 2005

V. Shefali Ali, **Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes**, 2002

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทย

ตารางที่ ก-1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ที่เก็บขนได้ จำนวนประชากร ครัวเรือน อัตราการผลิตขยะ และประสิทธิภาพการเก็บขนของขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดทางภาคเหนือ

ลำดับที่	จังหวัด	ขยะที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)	ขยะที่เก็บขนได้ (ตันต่อวัน)	ประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลังคาเรือน)	จำนวนประชากรแฝง (คน/วัน)	นักท่องเที่ยวและประชากรจร (คน/ปี)	อัตราการผลิตขยะ (กก/คน/วัน)	อัตราการผลิตขยะ (กก./ครัวเรือน/วัน)	ประสิทธิภาพการเก็บขน (ร้อยละ)
1	จังหวัดเชียงใหม่	501	470.4	394,329	156,327	61,220	1,610,000	1.09	3.2	93.89
2	จังหวัดลำพูน	93.15	82.6	100,324	35,050	7,580	20,000	0.86	2.66	88.67
3	จังหวัดเชียงราย	206	197	217,036	87,163	24,430	820,000	0.85	2.36	95.39
4	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	30	28	21,173	9,055	1,870	1,600,000	1.09	3.31	93.33
5	จังหวัดลำปาง	223.5	212.5	218,293	74,999	28,000	30,000	0.91	2.98	95.08
6	จังหวัดแพร่	104.2	96.2	98,411	35,001	9,700	2000	0.96	2.98	92.32
7	จังหวัดพะเยา	111	108.5	110,472	38,306	8,200	60000	0.93	2.9	97.75
8	จังหวัดสุโขทัย	107	97.5	117,610	34,315	16,400	500000	0.79	3.12	91.12
9	จังหวัดอุตรดิตถ์	82.5	67.7	102,048	31,020	9,240	10000	0.74	2.66	82.06
10	จังหวัดน่าน	51.5	39	62,621	20,677	5,300	10000	0.76	2.49	75.73
11	จังหวัดพิษณุโลก	165.5	152	148,004	19,738	19,800	40,000	0.99	8.38	91.84
12	จังหวัดพิจิตร	90	73.5	111,236	32,789	11,100	30000	0.74	2.74	81.67
13	จังหวัดนครสวรรค์	182.75	170.95	227,464	70,653	26,900	60,000	0.72	2.59	93.54
14	จังหวัดอุทัยธานี	68.5	61.5	61,071	19,495	5,740	100,000	1.02	3.51	89.78
15	จังหวัดกำแพงเพชร	76	73	92,609	29,249	7,600	60,000	0.76	2.6	96.05
16	จังหวัดตาก	129.8	115.8	108,826	30,545	14,300	910,000	1.03	4.25	89.21
17	จังหวัดเพชรบูรณ์	165	155.5	142,946	43,571	13,500	130,000	1.05	3.79	94.24
สรุป		2,387	2,201	2,334,473	767,953	270,880	5,992,000	0.90	3.32	92.20

ตารางที่ ก-2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ที่เก็บขนได้ จำนวนประชากร ครัวเรือน อัตราการผลิตขยะ และประสิทธิภาพการเก็บขนของขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	จังหวัด	ขยะที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)	ขยะที่เก็บขนได้ (ตันต่อวัน)	ประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลังคาเรือน)	จำนวนประชากรแฝง (คน/วัน)	นักท่องเที่ยวและประชากรจร (คน/ปี)	อัตราการผลิตขยะ (กก/คน/วัน)	อัตราการผลิตขยะ (กก./ครัวเรือน/วัน)	ประสิทธิภาพการเก็บขน (ร้อยละ)
1	จังหวัดอุดรธานี	361.16	322.36	411,776	119,913	52,600	110,000	0.78	3.01	89.26
2	จังหวัดเลย	88.5	79.5	85,657	24,984	8,700	1,350,000	0.9	3.54	89.83
3	จังหวัดหนองคาย	122.63	107.55	162,844	45,388	19,500	965,000	0.66	2.7	87.7
4	จังหวัดสกลนคร	160	140	138,086	42,784	12,900	12,000	1.06	3.74	87.5
5	จังหวัดนครพนม	80.72	75.4	93,828	26,731	8,800	580,000	0.77	3.02	93.41
6	จังหวัดชัยภูมิ	137	127.25	150,212	43,538	14,200	210,000	0.83	3.15	92.88
7	จังหวัดหนองบัวลำภู	74.06	67.36	101,597	26,821	7,700	30,000	0.68	2.76	90.95
8	จังหวัดขอนแก่น	383.64	336.04	379,470	119,162	43,400	150,000	0.91	3.22	87.59
9	จังหวัดมหาสารคาม	95.5	82.2	101,098	31,450	9,400	10,000	0.86	3.04	86.07
10	จังหวัดกาฬสินธุ์	176.4	164.19	198,456	52,710	15,700	20,000	0.82	3.35	93.08
11	จังหวัดนครราชสีมา	597.5	550.6	533,545	163,965	81,500	398,000	0.97	3.64	92.15
12	จังหวัดบุรีรัมย์	183.4	171.9	200,869	52,684	16,700	225,000	0.84	3.48	93.73
13	จังหวัดสุรินทร์	107	103	97,321	24,166	9,900	30,000	1	4.43	96.26
14	จังหวัดศรีสะเกษ	111	95	129,466	37,153	12,500	45,000	0.78	2.99	85.59
15	จังหวัดอุบลราชธานี	262.97	239.15	249,111	69,673	34,300	170,000	0.93	3.77	90.94
16	จังหวัดยโสธร	60.5	50.7	57,253	16,669	5,000	10,000	0.97	3.63	83.8
17	จังหวัดอำนาจเจริญ	49.88	36.2	58,144	15,614	5,800	10,000	0.78	3.19	72.57
18	จังหวัดร้อยเอ็ด	160.36	142.36	155,823	42,333	11,200	10,000	0.96	3.79	88.78
19	จังหวัดมุกดาหาร	42.5	41.5	49,759	12,499	6,800	60,000	0.75	3.4	97.65
สรุป		3,254.72	2,932.26	3,354,315	968,237	376,600	4,395,000	0.86	3.36	90.09

ตารางที่ ก-3 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ที่เก็บขนได้ จำนวนประชากร ครัวเรือน อัตราการผลิตขยะ และประสิทธิภาพการเก็บขนของขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดทางภาคกลาง

ลำดับที่	จังหวัด	ขยะที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)	ขยะที่เก็บขนได้ (ตันต่อวัน)	ประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลังคาเรือน)	จำนวนประชากรแฝง (คน/วัน)	นักท่องเที่ยวและประชากรจร (คน/ปี)	อัตราการผลิตขยะ (กก/คน/วัน)	อัตราการผลิตขยะ (กก./ครัวเรือน/วัน)	ประสิทธิภาพการเก็บขน (ร้อยละ)
1	จังหวัดชัยนาท	47.5	44.5	42,626	14,737	4,300	10,000	1.01	3.22	93.68
2	จังหวัดสุพรรณบุรี	190.3	174.25	140,618	61,306	10,000	50,000	1.26	3.1	91.57
3	จังหวัดนครปฐม	384	368	204,792	73,286	68,100	340,000	1.4	5.24	95.83
4	จังหวัดสมุทรสาคร	414	346	177,324	72,394	78,100	170,000	1.62	5.72	83.57
5	จังหวัดสมุทรปราการ	1,218	1,207	620,749	418,477	418,500	1,230,000	1.17	2.91	99.1
6	จังหวัดนนทบุรี	711.5	689.25	596,144	245,611	211,316	180,000	0.88	2.9	96.87
7	จังหวัดปทุมธานี	404.7	401.7	324,316	136,847	152,800	180,000	0.85	2.96	99.26
8	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	265.5	246.5	258,922	78,205	32,500	990,000	0.9	3.39	92.84
9	จังหวัดอ่างทอง	54.3	49.1	71,367	20,758	4,800	60,000	0.71	2.62	90.42
10	จังหวัดสิงห์บุรี	50	47	66,187	21,013	5,400	40,000	0.7	2.38	94
11	จังหวัดลพบุรี	155.3	154.69	144,572	44,143	17,400	300,000	0.95	3.52	99.61
12	จังหวัดสระบุรี	203.85	197.15	211,697	69,647	18,000	50,000	0.89	2.93	96.71
13	จังหวัดราชบุรี	272.25	269.25	237,009	67,108	29,100	280,000	1.02	4.06	98.9
14	จังหวัดกาญจนบุรี	199.5	186.7	176,708	57,078	16,500	640,000	1.02	3.5	93.58
15	จังหวัดสมุทรสงคราม	42	39	47,508	12,632	7,700	340,000	0.75	3.32	92.86
16	จังหวัดเพชรบุรี	184	174	159,937	42,931	18,600	1,520,000	1.01	4.29	94.57
17	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	199	199	152,532	59,052	29,300	2,760,000	1.05	3.37	100
18	จังหวัดนครนายก	27.7	25.3	24,318	9,170	2,900	30,000	1.01	3.02	91.34
สรุป		5,023	4,818	3,657,326	1,504,395	1,125,316	9,170,000	1.01	3.47	95.92

ตารางที่ ก-4 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ที่เก็บขนได้ จำนวนประชากร ครัวเรือน อัตราการผลิตขยะ และประสิทธิภาพการเก็บขนของขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดทางภาคตะวันออก

ลำดับที่	จังหวัด	ขยะที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)	ขยะที่เก็บขนได้ (ตันต่อวัน)	ประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลังคาเรือน)	จำนวนประชากรแฝง (คน/วัน)	นักท่องเที่ยวและประชากรจร (คน/ปี)	อัตราการผลิตขยะ (กก/คน/วัน)	อัตราการผลิตขยะ (กก./ครัวเรือน/วัน)	ประสิทธิภาพการเก็บขน (ร้อยละ)
1	จังหวัดปราจีนบุรี	72.6	70.6	64,610	18,778	7,900	10,000	1	3.87	97.25
2	จังหวัดชลบุรี	915.9	860.5	561,771	196,317	203,400	3,390,000	1.18	4.67	93.95
3	จังหวัดระยอง	286.5	268.5	205,089	88,262	46,800	820,000	1.13	3.25	93.72
4	จังหวัดจันทบุรี	168.5	152	151,816	53,832	32,400	290,000	0.91	3.13	90.21
5	จังหวัดตราด	49	48.5	48,624	18,891	10,500	30,000	0.83	2.59	98.98
6	จังหวัดฉะเชิงเทรา	149.75	144.15	123,382	49,563	28,800	300,000	0.98	3.02	96.26
7	จังหวัดสระแก้ว	82	76	66,495	24,528	8,800	170,000	1.08	3.34	92.68
สรุป		1,724.25	1,620.25	1,221,787	450,171	338,600	5,010,000	1.02	3.41	93.97

ตารางที่ ก-5 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ที่เก็บขนได้ จำนวนประชากร ครัวเรือน อัตราการผลิตขยะ และประสิทธิภาพการเก็บขนของขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดทางภาคใต้

ลำดับที่	จังหวัด	ขยะที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)	ขยะที่เก็บขนได้ (ตันต่อวัน)	ประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (คน)	จำนวนครัวเรือน (หลังคาเรือน)	จำนวนประชากรแฝง (คน/วัน)	นักท่องเที่ยวและประชากรจร (คน/ปี)	อัตราการผลิตขยะ (กก/คน/วัน)	อัตราการผลิตขยะ (กก./ครัวเรือน/วัน)	ประสิทธิภาพการเก็บขน (ร้อยละ)
1	จังหวัดนครศรีธรรมราช	272.7	249.4	245,871	74,987	36,900	90,000	0.96	3.64	91.46
2	จังหวัดสุราษฎร์ธานี	314.9	270.6	320,210	124,226	54,900	2,950,000	0.82	2.53	85.93
3	จังหวัดระนอง	39	34	26,845	8,824	4,900	200,000	1.21	4.42	87.18
4	จังหวัดชุมพร	105.9	96.2	95,974	30,928	12,300	170,000	0.97	3.42	90.84
5	จังหวัดกระบี่	76	75	57,602	21,939	12,500	2,600,000	0.98	3.46	98.68
6	จังหวัดพังงา	50	48	32,415	10,722	7,200	1,890,000	1.12	4.66	96
7	จังหวัดภูเก็ต	207	202	117,792	47,275	25,100	5,000,000	1.32	4.38	97.58
8	จังหวัดสตูล	32	29	40,147	9,807	5,100	80,000	0.7	3.26	90.63
9	จังหวัดตรัง	111.5	107.5	114869	38302	17,691	477,000	0.84	2.91	96.41
10	จังหวัดสงขลา	533.2	507.3	513,523	164,799	82,600	1,430,000	0.89	3.24	95.14
11	จังหวัดพัทลุง	53.25	48.25	67,400	22,026	7,200	250,000	0.71	2.42	90.61
12	จังหวัดปัตตานี	80.9	76.9	110,651	32,054	9,540	70,000	0.67	2.52	95.06
13	จังหวัดยะลา	118.5	107.5	108,333	33,548	17,850	440,000	0.93	3.53	90.72
14	จังหวัดนราธิวาส	126.5	119.5	160,307	40,260	16,300	350,000	0.71	3.14	94.47
สรุป		2,121.35	1,971.15	2,011,939	659,697	310,081	15,997,000	0.92	3.40	92.92

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทย

ตารางที่ ข-1 องค์ประกอบทางกายภาพขยะมูลฝอยชุมชนตัวอย่างของจังหวัดในภาคเหนือ

สสภ.	จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ / เทศบาล	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/นิตยสาร/กระดาษแข็ง เช่น แผงขนม	กระดาษคราฟ (ลูกฟูกสีน้ำตาล)	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP (ถุง/ขวด)		PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)		LDPE (ถุง/ขวด)		แก้วสีขาว	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อลูมิเนียม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลังไม้/กิ่งไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่านไฟฉาย/ถ่านโทรศัพท์/แบตเตอรี่	หลอดไฟฟ้า/กระป๋องสารเคมี (สเปรย์)	อื่น ๆ (ผ้าอนามัย/ผ้าอ้อมสำเร็จรูป/กระดาษทิชชู)	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
1	เชียงใหม่	ทน.เชียงใหม่	63.15	0.24	3.07	1.43	0.63	0.53	2.00	0.12	0.42	0.00	0.57	0.81	8.14	0.45	3.61	0.06	5.10	3.07	0.00	0.58	0.51	0.00	1.03	0.00	0.34	0.00	0.02	0.08	4.04	**100.00**	**225.44**
		ทต.แม่โจ้	61.34	3.01	3.67	1.36	0.78	1.01	2.00	0.03	0.02	0.00	1.17	0.60	12.24	0.05	5.87	0.00	0.37	0.38	0.00	0.60	0.66	0.00	0.37	0.03	0.93	0.01	0.03	0.02	3.45	**100.00**	**199.04**
		ทต.สันกำแพง	60.14	1.10	5.62	0.59	1.84	0.56	2.00	0.47	0.40	0.03	0.81	0.22	13.46	0.32	4.68	0.01	0.41	0.72	0.04	0.60	0.17	0.00	0.62	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	4.49	**100.00**	**167.14**
	เชียงราย	ทม.เชียงราย	53.52	0.32	3.63	1.92	2.95	0.39	1.83	1.00	0.00	0.03	0.54	0.48	13.63	0.35	5.75	0.07	1.75	2.77	0.00	0.54	0.76	0.00	2.11	0.09	1.40	0.04	0.01	0.01	4.11	**100.00**	**209.35**
		ทต.แม่สาย	52.78	1.18	3.27	3.14	0.91	1.08	3.00	0.99	0.68	0.00	0.91	1.06	14.99	0.22	3.77	0.04	2.12	2.83	0.00	0.94	0.50	0.00	1.07	0.03	1.18	0.00	0.00	0.00	3.31	**100.00**	**169.16**
	แม่ฮ่องสอน	ทม.แม่ฮ่องสอน	54.63	2.01	2.40	3.99	0.93	0.79	1.97	1.00	0.17	0.03	0.73	0.45	13.04	0.68	5.04	0.07	2.45	3.31	0.00	0.51	0.71	0.00	0.30	0.02	1.02	0.03	0.01	0.02	3.69	**100.00**	**189.87**
		ทต.แม่สะเรียง	55.96	1.05	2.63	1.12	0.33	0.65	3.07	0.90	0.04	0.44	0.49	1.30	10.07	0.56	4.27	0.33	2.76	5.49	0.00	1.53	1.18	0.00	0.34	0.00	0.58	0.04	0.00	0.00	4.87	**100.00**	**162.77**
	ลำพูน	ทม.ลำพูน	57.34	1.08	5.19	1.95	1.05	1.04	2.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.74	13.00	0.48	5.00	0.01	0.66	0.78	0.00	0.49	0.87	0.00	1.19	0.26	1.65	0.14	0.00	0.00	4.28	**100.00**	**184.14**
เฉลี่ย สสภ.1			**57.36**	**1.25**	**3.69**	**1.94**	**1.18**	**0.76**	**2.28**	**0.61**	**0.22**	**0.07**	**0.65**	**0.71**	**12.32**	**0.39**	**4.75**	**0.07**	**1.95**	**2.42**	**0.01**	**0.72**	**0.67**	**0.00**	**0.88**	**0.05**	**0.98**	**0.03**	**0.01**	**0.02**	**4.03**	**100.00**	**188.36**
2	ลำปาง	ทน.ลำปาง	63.27	0.79	2.75	1.89	0.98	0.44	2.42	0.31	0.02	0.00	0.51	0.55	12.37	0.29	4.75	0.06	0.38	0.39	0.00	1.01	0.77	0.00	0.17	0.01	0.88	0.03	0.04	0.00	4.92	**100.00**	**169.55**
	พะเยา	ทม.พะเยา	60.39	0.39	1.14	0.98	2.10	0.87	2.54	0.03	0.07	1.96	0.90	0.73	11.84	0.72	3.70	0.12	0.33	0.57	0.00	0.63	1.14	0.00	1.30	0.21	2.66	0.13	0.01	0.03	4.51	**100.00**	**167.69**
	แพร่	ทม.แพร่	60.98	0.71	4.36	0.53	3.94	0.52	2.60	0.23	0.00	0.04	0.42	0.41	10.48	0.07	4.18	0.02	2.20	0.80	0.00	0.39	0.71	0.00	0.32	0.24	0.80	0.00	0.00	0.00	5.05	**100.00**	**185.24**
		ทต.เด่นชัย	60.27	0.50	1.43	2.29	1.91	0.76	2.28	0.50	0.08	0.00	0.82	0.36	10.37	0.07	5.64	0.16	2.30	0.52	0.00	0.32	0.52	0.00	1.79	0.48	2.32	0.03	0.01	0.04	4.23	**100.00**	**172.86**
	สุโขทัย	ทม.สุโขทัยธานี	61.46	0.48	3.04	2.00	2.53	0.34	2.58	0.16	0.03	0.00	0.88	0.49	10.54	0.18	4.55	0.15	1.33	2.26	0.00	0.50	0.69	0.00	0.71	0.05	0.54	0.03	0.00	0.03	4.45	**100.00**	**167.62**
		ทต.ศรีสัชนาลัย	54.64	0.85	2.40	0.97	1.67	0.74	2.73	0.15	0.00	0.07	0.72	0.65	14.39	0.25	4.08	0.19	2.68	3.35	0.00	0.47	0.99	0.00	2.01	0.13	0.83	0.04	0.01	0.03	4.96	**100.00**	**154.76**
เฉลี่ย สสภ.2			**60.17**	**0.62**	**2.52**	**1.44**	**2.19**	**0.61**	**2.53**	**0.23**	**0.03**	**0.35**	**0.71**	**0.53**	**11.67**	**0.26**	**4.48**	**0.12**	**1.54**	**1.32**	**0.00**	**0.55**	**0.80**	**0.00**	**1.05**	**0.19**	**1.34**	**0.04**	**0.01**	**0.02**	**4.69**	**100.00**	**169.62**
3	พิษณุโลก	ทน.พิษณุโลก	63.28	0.24	2.26	1.33	0.64	0.47	1.97	0.26	0.03	0.41	0.54	0.71	13.23	0.11	4.97	0.10	0.27	0.26	0.00	0.66	0.44	0.00	0.41	0.02	0.56	0.10	0.01	0.00	6.72	**100.00**	**205.71**
		ทต.นครไทย	61.63	0.74	1.85	1.81	2.22	0.85	2.42	0.29	0.00	0.03	0.76	0.58	15.12	0.05	3.69	0.06	0.75	0.43	0.00	0.71	0.90	0.00	1.38	0.10	0.49	0.00	0.00	0.00	3.14	**100.00**	**155.24**
	น่าน	ทม.น่าน	58.76	0.31	0.59	1.83	2.34	1.00	2.24	0.28	2.52	0.02	0.25	0.63	9.24	0.25	3.71	0.22	3.28	2.71	0.00	0.49	0.57	0.00	1.85	0.80	1.80	0.03	0.01	0.34	3.93	**100.00**	**193.81**
		ทต.สบกอน	50.50	0.69	2.29	1.36	2.93	0.82	3.91	0.49	0.02	0.00	0.34	0.48	14.88	0.27	7.28	0.16	2.20	2.27	0.00	0.71	1.12	0.00	0.83	0.01	1.08	0.16	0.04	0.05	5.11	**100.00**	**167.14**
	อุตรดิตถ์	ทม.อุตรดิตถ์	55.12	0.51	2.02	2.25	3.30	1.48	3.26	0.29	0.01	0.01	0.57	0.56	13.17	0.20	4.43	0.08	1.08	1.68	0.00	0.63	0.90	0.00	1.03	0.30	2.24	0.16	0.01	0.01	4.70	**100.00**	**204.76**
	พิจิตร	ทม.พิจิตร	61.78	0.18	1.80	1.45	0.00	0.79	3.11	0.78	0.00	0.00	0.67	0.99	15.08	0.40	4.88	0.15	0.00	0.32	0.00	1.07	0.29	0.00	2.01	0.00	2.71	0.00	0.00	0.00	1.54	**100.00**	**170.29**
เฉลี่ย สสภ.3			**58.51**	**0.45**	**1.80**	**1.67**	**1.91**	**0.90**	**2.82**	**0.40**	**0.43**	**0.08**	**0.52**	**0.66**	**13.45**	**0.21**	**4.83**	**0.13**	**1.26**	**1.28**	**0.00**	**0.71**	**0.70**	**0.00**	**1.25**	**0.21**	**1.48**	**0.08**	**0.01**	**0.07**	**4.19**	**100.00**	**182.83**
4	นครสวรรค์	ทน.นครสวรรค์	73.10	1.02	2.13	0.55	1.56	0.62	1.62	0.09	0.05	0.01	0.46	0.72	7.89	0.16	2.85	0.17	0.53	1.09	0.00	0.02	0.31	0.00	0.93	0.17	0.50	0.01	0.03	0.14	3.27	**100.00**	**162.85**
	ตาก	ทม.ตาก	60.12	1.54	2.98	1.87	2.74	0.44	2.21	0.17	0.06	0.00	0.19	0.63	12.52	0.05	4.93	0.06	0.68	1.19	0.00	1.09	1.00	0.00	0.30	0.00	0.94	0.00	0.05	0.00	4.24	**100.00**	**171.62**
		ทต.พบพระ	55.46	0.73	2.64	3.47	4.81	0.60	2.38	0.21	0.16	0.09	1.12	0.69	11.72	0.12	5.11	0.25	0.84	2.23	0.00	0.57	0.56	0.00	0.71	0.40	0.46	0.00	0.03	0.00	4.64	**100.00**	**176.66**
		ทต.อุ้มผาง	62.07	0.19	2.64	1.89	4.62	1.06	1.57	0.14	0.00	0.03	0.23	0.70	11.98	0.14	5.58	0.11	1.04	2.41	0.00	0.50	1.27	0.00	0.07	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.46	**100.00**	**182.86**
	กำแพงเพชร	ทม.กำแพงเพชร	66.95	0.63	1.71	0.94	0.14	0.70	4.05	0.41	0.11	0.00	0.90	1.66	3.35	0.28	3.28	0.41	0.74	0.57	0.00	1.23	1.20	0.00	0.59	0.00	2.48	0.29	0.00	0.00	7.38	**100.00**	**203.38**
		ทต.พรานกระต่าย	68.21	0.14	1.36	1.21	2.10	0.61	2.14	0.16	0.04	0.57	0.69	0.00	12.60	0.28	3.09	0.06	0.22	0.40	0.00	0.91	0.87	0.00	0.99	0.00	0.81	0.00	0.01	0.04	2.49	**100.00**	**161.43**
	อุทัยธานี	ทม.อุทัยธานี	53.58	1.82	3.33	1.35	1.95	0.94	3.28	0.48	0.04	0.13	1.05	0.81	13.06	0.20	5.39	0.20	1.93	2.48	0.00	0.78	0.88	0.00	0.94	0.47	1.36	0.18	0.13	0.02	3.22	**100.00**	**167.14**
เฉลี่ย สสภ.4			**62.78**	**0.87**	**2.40**	**1.61**	**2.56**	**0.71**	**2.46**	**0.24**	**0.07**	**0.12**	**0.66**	**0.74**	**10.45**	**0.18**	**4.32**	**0.18**	**0.85**	**1.48**	**0.00**	**0.73**	**0.87**	**0.00**	**0.65**	**0.15**	**0.98**	**0.07**	**0.04**	**0.03**	**3.81**	**100.00**	**175.13**
เฉลี่ยภาคเหนือ			**59.71**	**0.80**	**2.60**	**1.67**	**1.96**	**0.74**	**2.52**	**0.37**	**0.19**	**0.15**	**0.64**	**0.66**	**11.97**	**0.26**	**4.59**	**0.12**	**1.40**	**1.62**	**0.00**	**0.68**	**0.76**	**0.00**	**0.96**	**0.15**	**1.19**	**0.05**	**0.02**	**0.03**	**4.18**	**100.00**	**179.47**

หมายเหตุ : 1) หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

2) ทำการสำรวจระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2546

ตารางที่ ข-2 องค์ประกอบทางกายภาพขยะมูลฝอยชุมชนตัวอย่างของจังหวัดในภาคกลาง

สสภ.	จังหวัด	องค์ประกอบทางก / เทศบาล	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/นิตยสาร/ กระดาษแข็ง เช่น แผงขนม	กระดาษคราฟ (ลูกฟูกสีน้ำตาล)	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP (ถุง/ขวด)		PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)		LDPE (ถุง/ขวด)		แก้วสีขาว	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อลูมิเนียม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลังไม้/กิ่งไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่านไฟฉาย/ถ่านโทรศัพท์/ แบตเตอรี่	หลอดไฟฟ้า/กระป๋องสารเคมี (สเปรย์)	อื่น ๆ (ผ้าอ้อม/ ผ้าอ้อมสำเร็จรูป/กระดาษทิชชู)	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
5	นครปฐม	ทน นครปฐม	70.01	2.97	1.61	1.81	1.97	0.39	1.80	0.79	0.10	0.79	0.79	0.59	4.97	0.40	3.16	0.07	0.05	2.34	0.00	0.59	0.53	0.00	0.10	0.39	1.20	0.00	0.00	0.00	2.58	**100.00**	**167.62**
		ทต. สามพราน	64.76	0.11	2.34	1.64	0.05	0.25	0.90	0.68	0.10	0.05	0.64	0.72	8.69	1.80	5.74	0.00	2.60	0.87	0.00	0.36	0.28	0.00	0.18	0.03	1.18	0.13	0.00	0.03	5.87	**100.00**	**161.38**
	สมุทรสาคร	ทน. สมุทรสาคร	63.27	0.11	2.14	0.93	0.24	0.51	2.16	0.29	0.16	0.57	0.64	0.22	12.24	0.29	7.34	0.35	1.62	0.43	0.00	1.04	0.67	0.00	0.51	0.00	0.31	0.00	0.05	0.00	3.91	**100.00**	**180.95**
		ทต. อ้อมน้อย	58.84	3.83	2.77	2.77	0.35	0.69	1.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	12.46	0.00	4.15	0.00	1.04	1.04	0.00	0.35	0.69	0.00	0.00	1.36	2.08	0.00	0.00	0.00	4.45	**100.00**	**176.67**
	สุพรรณบุรี	ทม. สุพรรณบุรี	44.18	1.15	7.09	4.43	0.52	1.12	4.15	0.91	0.35	1.85	1.31	1.05	9.63	0.47	6.03	0.39	0.25	1.12	0.00	0.65	3.83	0.00	0.50	1.04	3.16	0.00	0.00	0.00	4.82	**100.00**	**180.00**
		ทต. อู่ทอง	64.32	1.17	2.07	2.29	0.23	0.61	2.29	0.88	0.29	0.59	0.44	0.29	7.77	0.26	3.78	0.23	1.76	0.00	0.00	0.52	0.59	0.00	0.59	0.88	2.05	0.00	0.03	0.00	6.07	**100.00**	**208.57**
	ชัยนาท	ทม. ชัยนาท	49.49	1.70	5.19	2.02	4.42	1.18	2.40	0.81	0.45	0.17	0.49	0.92	10.39	0.15	5.15	0.20	1.25	2.13	0.00	0.86	0.81	0.00	0.53	0.00	2.78	0.00	0.02	0.11	6.38	**100.00**	**185.71**
เฉลี่ย สสภ.5			**59.27**	**1.58**	**3.32**	**2.27**	**1.11**	**0.68**	**2.15**	**0.67**	**0.26**	**0.62**	**0.67**	**0.59**	**9.45**	**0.48**	**5.05**	**0.18**	**1.22**	**1.13**	**0.00**	**0.62**	**1.06**	**0.00**	**0.34**	**0.53**	**1.82**	**0.02**	**0.01**	**0.02**	**4.87**	**100.00**	**180.13**
6	นนทบุรี	ทน. นนทบุรี	62.77	1.12	1.97	1.24	0.12	0.76	2.34	0.08	0.00	0.61	0.68	0.75	10.70	0.53	4.21	0.07	0.63	0.53	0.23	0.52	0.65	0.00	0.41	0.45	2.06	0.00	0.00	0.00	6.57	**100.00**	**179.52**
		ทน. ปากเกร็ด	61.85	0.15	0.40	0.16	1.13	1.52	2.29	0.78	0.03	0.21	0.60	0.70	13.17	0.27	8.13	0.14	0.22	0.28	0.00	0.49	0.65	0.00	0.25	0.06	1.15	0.11	0.00	0.00	5.26	**100.00**	**173.81**
	สมุทรปราการ	ทน.	67.16	0.33	2.04	3.59	0.05	0.30	2.86	1.05	0.15	0.15	0.60	0.44	10.17	0.45	4.50	0.09	0.04	0.60	0.05	0.98	0.75	0.11	0.60	0.75	1.36	0.02	0.06	0.30	0.45	**100.00**	**200.95**
	ปทุมธานี	ทม. ปทุมธานี	63.36	0.23	0.77	0.57	0.63	0.37	4.16	0.25	0.07	0.00	0.79	0.71	11.83	0.11	6.11	0.22	0.62	0.47	0.00	0.60	0.96	0.00	0.89	0.39	2.32	0.00	0.39	0.00	3.18	**100.00**	**157.62**
	พระนครศรีอยุธ	ทน.	67.99	2.07	2.61	2.29	2.25	0.62	1.53	0.28	0.27	0.10	0.65	0.92	8.32	0.19	3.42	0.07	0.75	0.47	0.00	0.80	0.94	0.00	0.76	0.03	1.37	0.00	0.00	0.00	1.30	**100.00**	**161.00**
	อ่างทอง	ทม. อ่างทอง	72.00	1.10	0.96	1.19	1.29	0.96	1.06	0.40	0.04	0.01	0.65	0.93	8.08	0.16	1.93	0.05	0.60	1.15	0.00	1.08	0.61	0.00	0.86	0.05	0.75	0.12	0.02	0.00	3.95	**100.00**	**173.85**
	สิงห์บุรี	ทม. สิงห์บุรี	70.78	1.80	1.08	0.96	0.29	0.75	1.51	0.34	0.08	0.04	0.85	0.50	8.38	0.06	4.29	0.23	0.46	0.56	0.00	0.50	0.29	0.00	0.98	0.12	1.22	0.00	0.00	0.00	3.93	**100.00**	**167.57**
เฉลี่ย สสภ.6			**66.56**	**0.97**	**1.40**	**1.43**	**0.82**	**0.75**	**2.25**	**0.45**	**0.09**	**0.16**	**0.69**	**0.71**	**10.09**	**0.25**	**4.66**	**0.12**	**0.47**	**0.58**	**0.04**	**0.71**	**0.69**	**0.02**	**0.68**	**0.26**	**1.46**	**0.04**	**0.07**	**0.04**	**3.52**	**100.00**	**173.47**
7	สระบุรี	ทม. สระบุรี	64.60	0.80	2.86	1.69	0.55	0.68	2.32	0.05	0.00	0.04	0.17	0.18	13.47	0.22	5.06	0.36	0.10	0.00	0.00	0.55	0.47	0.00	0.00	0.00	2.12	0.17	0.02	0.00	3.52	**100.00**	**175.71**
		ทต. มวกเหล็ก	62.52	2.92	1.36	1.45	0.43	0.65	2.74	0.59	0.42	0.00	1.15	2.09	10.76	0.30	6.80	0.04	0.00	0.00	0.00	1.07	0.29	0.00	0.04	0.45	0.57	0.00	0.04	0.00	3.32	**100.00**	**190.85**
	เพชรบูรณ์	ทม. เพชรบูรณ์	55.42	0.63	3.60	4.67	0.93	0.50	5.11	0.15	0.04	0.08	0.59	0.70	10.98	0.31	6.18	0.11	0.94	0.38	0.00	0.44	0.29	0.00	0.28	0.02	0.14	0.00	0.02	0.00	7.49	**100.00**	**171.43**
		ทต. หล่มเก่า	57.20	0.90	3.61	2.02	2.85	1.28	3.00	0.50	0.00	0.04	1.19	0.35	12.84	0.27	6.14	0.26	1.30	0.23	0.00	0.77	0.59	0.00	1.31	0.27	0.14	0.00	0.06	0.04	2.84	**100.00**	**168.57**
	ลพบุรี	ทม. ลพบุรี	66.25	1.74	3.48	1.65	1.03	0.65	2.95	0.28	0.02	0.05	1.10	1.11	8.55	0.20	3.42	0.27	0.99	0.29	0.00	0.62	0.78	0.00	1.12	0.14	0.71	0.06	0.04	0.04	2.46	**100.00**	**187.57**
		ทต. ลำนารายณ์	66.84	0.90	0.92	1.06	2.81	2.52	1.06	0.51	0.32	0.07	0.80	0.54	8.79	0.34	3.23	0.40	1.09	0.16	0.00	1.08	0.86	0.00	1.10	0.30	1.25	0.06	0.06	0.00	2.93	**100.00**	**168.57**
	นครนายก	ทม. นครนายก	61.64	0.43	1.95	1.35	4.11	0.85	3.23	0.12	0.00	0.00	0.96	1.38	10.36	0.27	5.17	0.24	0.26	0.12	0.00	0.89	0.40	0.00	0.57	0.00	1.09	0.00	0.00	0.00	4.61	**100.00**	**193.33**
	ปราจีนบุรี	ทม. ปราจีนบุรี	68.58	0.29	1.98	1.73	1.13	0.50	1.56	0.15	0.00	0.10	0.77	0.66	9.99	0.32	3.70	0.20	0.49	0.47	0.00	0.99	0.67	0.00	0.97	0.14	0.77	0.14	0.00	0.00	3.70	**100.00**	**177.61**
เฉลี่ย สสภ.7			**62.88**	**1.08**	**2.47**	**1.95**	**1.73**	**0.95**	**2.75**	**0.29**	**0.10**	**0.05**	**0.84**	**0.88**	**10.72**	**0.28**	**4.96**	**0.24**	**0.65**	**0.21**	**0.00**	**0.80**	**0.54**	**0.00**	**0.67**	**0.17**	**0.85**	**0.05**	**0.03**	**0.01**	**3.86**	**100.00**	**179.21**
8	ราชบุรี	ทม. ราชบุรี	66.58	0.80	0.76	1.52	0.57	0.76	3.35	0.13	0.00	0.36	0.25	0.51	7.69	0.00	4.16	0.13	0.25	2.19	0.00	0.38	0.89	0.00	1.50	0.09	1.27	0.00	0.00	0.00	5.86	**100.00**	**176.67**
		ทต. ดำเนิน	56.78	0.23	3.03	2.21	2.48	1.10	2.76	1.10	0.14	1.65	1.10	1.65	7.72	0.00	8.55	0.00	1.38	0.00	0.00	1.14	0.97	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.07	5.51	**100.00**	**186.67**
	กาญจนบุรี	ทม. กาญจนบุรี	53.66	4.29	2.36	3.12	1.48	0.41	5.10	0.64	0.00	0.20	1.06	0.41	10.63	0.20	5.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	0.26	0.00	0.40	0.05	1.17	0.00	0.11	0.00	7.73	**100.00**	**210.00**
		ทต. ท่าม่วง	51.72	0.26	3.86	3.77	0.00	0.96	5.91	0.64	0.00	0.64	1.28	0.64	11.16	0.00	3.26	0.00	0.96	0.64	0.00	0.96	0.31	0.00	2.42	0.00	4.84	0.00	0.00	0.00	5.77	**100.00**	**179.05**
	สมุทรสงคราม	ทม.	61.84	0.79	2.65	1.87	0.64	0.75	2.33	0.22	0.06	0.00	1.20	0.39	12.23	0.43	5.00	0.10	0.96	1.02	0.00	0.64	1.86	0.00	0.59	0.01	0.24	0.00	0.00	0.00	4.18	**100.00**	**161.19**
	เพชรบุรี	ทม. เพชรบุรี	58.20	0.37	9.97	3.67	0.00	0.88	3.67	0.37	0.00	1.29	0.34	0.29	8.00	0.19	2.58	0.00	2.53	0.55	0.00	0.73	0.37	0.00	0.41	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	5.22	**100.00**	**230.48**
		ทต. ชะอำ	59.79	0.41	1.09	7.34	0.69	0.57	3.79	0.46	0.35	0.57	0.46	0.69	7.76	0.34	5.22	0.00	0.12	0.57	0.00	0.80	0.80	0.00	0.32	0.91	3.55	0.00	0.00	0.12	3.28	**100.00**	**170.00**
	ประจวบคีรีขันธ์	ทม.	80.20	0.06	0.77	1.68	0.39	0.39	1.08	0.24	0.24	0.24	0.31	2.80	4.04	0.00	1.22	0.00	0.06	0.18	0.00	0.46	0.00	0.00	0.39	0.00	0.39	0.00	0.24	0.15	4.47	**100.00**	**235.24**
		ทต. หัวหิน	65.11	2.32	2.81	4.21	1.40	0.38	4.52	0.41	0.04	0.19	0.42	1.01	6.93	0.16	3.42	0.08	0.32	0.18	0.00	1.12	0.00	0.00	0.27	0.22	0.35	0.00	0.02	0.08	4.03	**100.00**	**289.52**
เฉลี่ย สสภ.8			**61.54**	**1.06**	**3.03**	**3.27**	**0.85**	**0.69**	**3.61**	**0.47**	**0.09**	**0.57**	**0.71**	**0.93**	**8.46**	**0.15**	**4.29**	**0.03**	**0.73**	**0.59**	**0.00**	**0.86**	**0.61**	**0.00**	**0.70**	**0.18**	**1.36**	**0.00**	**0.04**	**0.05**	**5.12**	**100.00**	**204.31**
เฉลี่ยภาคกลาง			**62.56**	**1.17**	**2.56**	**2.23**	**1.13**	**0.77**	**2.69**	**0.47**	**0.14**	**0.35**	**0.73**	**0.78**	**9.68**	**0.29**	**4.74**	**0.14**	**0.77**	**0.63**	**0.01**	**0.75**	**0.73**	**0.00**	**0.60**	**0.29**	**1.37**	**0.03**	**0.04**	**0.03**	**4.34**	**100.00**	**185.28**

หมายเหตุ : 1) หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

2) ทำการสำรวจระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2546

ตารางที่ ข-3 องค์ประกอบทางกายภาพขยะมูลฝอยชุมชนตัวอย่างของจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สสภ.	จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ / เทศบาล	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/นิตยสาร/ กระดาษแข็ง เช่น แผงขนม	กระดาษคราฟ (ลูกฟูกสีน้ำตาล)	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP (ถุง/ขวด)		PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)		LDPE (ถุง/ขวด)		แก้วสีขาว	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อลูมิเนียม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลังไม้/กิ่งไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่านไฟฉาย/ถ่านโทรศัพท์/ แบตเตอรี่	หลอดไฟฟ้า/กระป๋องสารเคมี (สเปรย์)	อื่น ๆ (ผ้าอนามัย/ ผ้าอ้อมสำเร็จรูป/กระดาษทิชชู)	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
9	อุดรธานี	ทน. อุดรธานี	75.07	0.98	0.82	2.01	0.73	0.77	1.24	0.12	0.21	0.00	0.28	0.42	5.62	0.25	2.89	0.14	1.04	1.17	0.00	0.90	0.54	0.00	0.14	0.20	1.14	0.00	0.27	0.00	3.05	**100.00**	**170.43**
	หนองคาย	ทม. หนองคาย	70.58	1.00	0.82	1.61	0.55	1.11	1.15	0.18	0.09	0.07	0.46	0.40	7.64	0.05	3.68	0.00	0.91	3.79	0.54	0.73	0.53	0.00	0.74	0.05	0.26	0.48	0.00	0.00	2.58	**100.00**	**189.00**
		ทต. ศรีเชียงใหม่	65.70	0.78	2.46	1.60	0.97	0.40	0.87	0.43	0.10	0.16	0.33	0.13	9.58	0.60	4.99	0.03	2.81	3.71	0.00	0.72	1.32	0.00	0.44	0.47	0.51	0.00	0.00	0.00	0.89	**100.00**	**184.28**
	เลย	ทม. เลย	66.25	1.20	1.60	2.94	0.66	0.25	1.29	0.24	1.53	0.16	0.41	0.34	8.39	0.47	4.54	0.05	0.63	2.02	0.00	1.16	0.10	0.00	0.39	0.29	0.41	0.40	0.02	0.00	4.26	**100.00**	**162.85**
		ทต. ภูกระดึง	76.17	0.66	1.14	0.85	0.77	0.44	1.39	0.32	0.23	0.29	0.05	0.33	7.44	0.30	1.81	0.00	0.81	2.56	0.00	0.55	0.51	0.00	0.17	0.33	0.60	0.34	0.00	0.13	1.81	**100.00**	**179.00**
	นครพนม	ทม. นครพนม	64.25	0.99	2.05	2.26	1.05	0.76	1.57	1.05	0.10	0.19	0.29	0.14	7.15	0.51	5.21	0.08	2.24	2.20	0.40	1.10	0.75	0.00	0.82	0.00	1.13	0.71	0.00	0.00	3.00	**100.00**	**178.09**
		ทต. ธาตุพนม	66.43	0.31	1.09	1.73	0.86	0.60	1.60	0.34	0.37	0.22	0.22	0.27	4.04	0.18	1.85	0.10	2.63	5.04	1.22	2.54	0.95	0.00	0.71	1.20	2.70	0.00	0.02	0.00	2.78	**100.00**	**159.00**
	สกลนคร	ทม. สกลนคร	65.68	0.91	2.13	2.27	0.81	0.46	1.57	0.36	0.15	0.12	0.56	0.28	9.53	0.78	4.23	0.02	0.92	2.10	0.00	1.09	0.29	0.00	0.00	0.00	2.60	0.59	0.01	0.03	2.51	**100.00**	**162.86**
		เฉลี่ย สสภ.9	**68.77**	**0.85**	**1.51**	**1.91**	**0.80**	**0.60**	**1.34**	**0.38**	**0.35**	**0.15**	**0.33**	**0.29**	**7.42**	**0.39**	**3.65**	**0.05**	**1.50**	**2.82**	**0.27**	**1.10**	**0.62**	**0.00**	**0.43**	**0.32**	**1.17**	**0.32**	**0.04**	**0.02**	**2.61**	**100.00**	**173.19**
10	ขอนแก่น	ทน. ขอนแก่น	68.18	0.52	1.25	1.89	0.97	0.54	1.10	0.16	0.08	0.09	0.26	0.27	11.59	0.08	3.19	0.07	3.14	2.20	0.00	0.63	0.48	0.00	0.00	0.01	1.41	0.33	0.02	0.09	1.45	**100.00**	**188.57**
		ทต. ชุมแพ	71.44	0.15	1.26	1.27	0.00	0.44	2.13	0.42	0.09	0.00	0.14	0.22	9.00	0.29	5.87	0.03	0.50	0.73	0.00	0.29	0.31	0.00	0.46	0.02	0.14	0.11	0.00	0.16	4.53	**100.00**	**181.42**
	มหาสารคาม	ทม. มหาสารคาม	63.86	0.75	2.03	1.40	0.33	0.41	1.68	0.56	0.12	1.12	0.23	0.22	8.28	0.60	4.36	5.89	1.63	1.69	0.00	0.55	0.74	0.00	0.00	0.00	1.38	1.50	0.04	0.00	0.63	**100.00**	**231.42**
	กาฬสินธุ์	ทม. กาฬสินธุ์	62.24	0.31	1.06	1.18	0.86	0.97	1.91	0.35	0.13	0.26	0.15	0.64	10.19	0.26	5.65	0.14	2.02	4.40	0.00	2.02	0.70	0.00	0.00	0.00	2.07	1.15	0.07	0.13	1.14	**100.00**	**176.19**
		ทต. กมลาไสย	64.90	0.77	3.72	0.37	0.40	0.19	1.40	0.19	0.21	0.06	0.00	0.00	10.85	0.11	5.59	0.00	2.16	2.63	0.00	2.18	0.82	0.00	0.10	0.00	0.52	0.12	0.00	0.00	2.71	**100.00**	**173.05**
	ชัยภูมิ	ทม. ชัยภูมิ	72.82	0.84	2.08	1.08	0.39	0.89	1.88	0.15	0.07	0.00	0.37	0.39	8.19	0.55	3.99	0.01	0.38	0.10	0.00	0.54	0.19	0.00	0.00	0.00	1.87	0.82	0.00	0.02	2.38	**100.00**	**164.71**
		ทต. แก้งคร้อ	72.13	0.29	0.55	1.42	0.46	0.88	1.35	0.17	0.06	0.07	0.13	0.19	11.67	0.19	4.35	0.00	0.12	0.68	0.00	0.50	0.77	0.00	0.00	0.00	1.86	0.52	0.00	0.00	1.64	**100.00**	**203.71**
	หนองบัวลำภู	ทม. หนองบัวลำภู	68.84	0.67	1.57	0.98	0.08	0.84	1.32	0.08	0.08	0.00	0.31	0.20	11.28	0.15	2.73	0.00	1.37	0.96	0.00	1.37	0.55	0.00	0.07	0.00	2.64	0.67	0.00	0.00	3.24	**100.00**	**168.00**
		เฉลี่ย สสภ.10	**68.05**	**0.54**	**1.69**	**1.20**	**0.44**	**0.65**	**1.60**	**0.26**	**0.11**	**0.20**	**0.20**	**0.27**	**10.13**	**0.28**	**4.47**	**0.77**	**1.42**	**1.67**	**0.00**	**1.01**	**0.57**	**0.00**	**0.08**	**0.00**	**1.49**	**0.65**	**0.02**	**0.05**	**2.22**	**100.00**	**185.88**
11	นครราชสีมา	ทน. นครราชสีมา	62.15	0.38	1.55	1.77	0.40	1.09	2.34	0.40	0.75	0.08	0.36	0.64	4.67	0.45	3.83	0.11	2.35	2.27	0.33	4.01	1.95	0.00	0.00	0.75	1.98	0.73	0.00	0.23	4.43	**100.00**	**158.09**
		ทต. ปากช่อง	68.25	0.90	1.47	1.27	3.97	0.88	2.29	0.29	0.14	0.20	0.44	0.26	5.26	0.17	4.00	0.56	0.24	1.27	0.00	1.11	1.51	0.00	2.54	0.55	0.12	0.00	0.02	0.00	2.29	**100.00**	**190.94**
		ทต. เมืองปัก	68.17	0.76	1.08	1.55	0.45	1.49	1.67	0.46	0.00	0.06	0.39	0.26	8.57	0.54	2.73	0.95	0.39	0.63	0.00	0.96	2.11	0.00	0.68	1.38	2.51	0.54	0.00	0.12	1.55	**100.00**	**161.90**
	สุรินทร์	ทม. สุรินทร์	73.57	0.15	2.75	1.82	1.82	0.64	1.26	0.56	0.45	0.09	0.27	0.24	3.68	0.52	2.14	0.03	2.39	3.65	0.00	0.64	1.03	0.00	0.39	0.22	0.44	0.00	0.04	0.05	1.16	**100.00**	**166.67**
	บุรีรัมย์	ทม. บุรีรัมย์	58.32	0.40	2.95	1.22	0.84	1.10	2.16	0.12	0.14	0.26	0.18	0.40	15.50	0.65	5.24	0.07	1.20	1.56	0.20	0.81	1.11	0.00	1.40	0.04	2.21	0.35	0.00	0.12	1.45	**100.00**	**186.19**
		ทต. นางรอง	58.23	0.21	3.80	2.10	6.56	0.33	1.99	0.42	0.38	0.26	0.29	0.35	8.84	0.35	6.66	0.10	1.31	0.94	1.67	0.99	1.13	0.00	0.75	0.07	0.90	0.00	0.10	0.17	1.10	**100.00**	**160.47**
	ศรีษะเกษ	ทม. ศรีษะเกษ	70.49	1.00	1.48	1.78	0.22	0.69	3.84	0.61	0.11	0.12	0.41	0.34	4.90	0.36	4.09	0.13	1.99	3.56	0.00	0.67	1.72	0.00	0.07	0.08	0.49	0.00	0.00	0.00	0.85	**100.00**	**199.05**
		ทต. กันทรลักษณ์	56.98	0.94	2.69	2.76	0.46	0.89	4.24	0.14	0.22	0.10	0.55	0.54	7.62	0.56	4.09	0.20	2.81	2.05	0.00	4.55	1.87	0.00	1.04	0.00	1.85	0.00	0.79	0.21	1.85	**100.00**	**182.38**
		เฉลี่ย สสภ.11	**64.52**	**0.59**	**2.22**	**1.78**	**1.84**	**0.89**	**2.47**	**0.38**	**0.27**	**0.15**	**0.36**	**0.38**	**7.38**	**0.45**	**4.10**	**0.27**	**1.59**	**1.99**	**0.28**	**1.72**	**1.55**	**0.00**	**0.86**	**0.39**	**1.31**	**0.20**	**0.12**	**0.11**	**1.84**	**100.00**	**175.71**
12	อุบลราชธานี	ทน. อุบลราชธานี	71.36	0.77	2.05	2.41	0.24	0.37	1.40	0.23	0.10	0.27	0.34	0.35	5.32	0.47	4.39	0.00	2.11	1.73	0.37	0.83	0.86	0.00	0.72	0.01	1.69	0.80	0.00	0.00	0.81	**100.00**	**160.48**
		ทต. วารินชำราบ	66.01	0.84	0.78	2.64	0.67	0.45	0.52	0.13	0.21	0.38	0.45	0.44	11.40	1.05	3.69	0.29	1.14	0.69	0.00	1.22	1.02	0.00	2.03	0.07	0.98	0.74	0.04	0.12	2.00	**100.00**	**162.38**
		ทต. น้ำยืน	59.37	0.80	1.99	2.39	1.42	1.04	2.17	0.23	1.16	0.53	0.36	0.26	3.87	0.85	3.80	0.08	7.49	4.74	0.00	0.95	1.59	0.00	1.69	0.00	0.46	0.13	0.12	0.00	2.51	**100.00**	**152.38**
	อำนาจเจริญ	ทม. อำนาจเจริญ	72.13	0.18	1.84	1.59	0.54	0.45	1.60	0.33	0.13	0.05	0.16	0.10	9.51	0.12	4.26	0.23	1.30	1.00	0.00	0.70	0.82	0.00	0.00	0.07	1.44	0.52	0.00	0.00	0.93	**100.00**	**160.00**
	ยโสธร	ทม. ยโสธร	68.96	0.29	2.07	1.46	0.91	0.63	0.97	0.48	1.70	0.31	0.24	0.15	10.25	0.26	2.27	0.28	1.93	1.30	0.20	1.13	0.29	0.00	0.47	0.00	1.13	0.06	0.09	0.30	1.87	**100.00**	**162.86**
	มุกดาหาร	ทม. มุกดาหาร	68.27	0.41	0.57	1.13	0.33	0.78	3.23	0.27	2.53	0.38	0.57	0.53	7.42	0.15	2.49	0.05	0.68	0.82	0.00	0.81	1.46	0.00	0.00	1.67	1.82	0.00	0.53	0.17	2.93	**100.00**	**166.67**
	ร้อยเอ็ด	ทม. ร้อยเอ็ด	69.30	0.48	4.48	2.00	0.34	0.42	1.69	0.31	0.03	0.06	0.14	0.31	7.51	0.59	2.55	0.02	2.77	1.79	0.00	0.94	0.66	0.00	0.01	0.00	0.32	0.00	0.00	0.19	3.09	**100.00**	**218.87**
		ทต. เกษตรวิสัย	74.87	0.37	0.85	1.37	1.17	0.97	2.04	0.49	0.04	0.05	0.13	0.03	8.03	0.08	3.00	0.03	0.76	0.86	0.00	0.63	0.98	0.00	0.37	0.04	0.46	0.00	0.05	0.01	2.32	**100.00**	**196.19**
		เฉลี่ย สสภ.12	**68.78**	**0.52**	**1.83**	**1.87**	**0.70**	**0.64**	**1.70**	**0.31**	**0.74**	**0.25**	**0.30**	**0.27**	**7.91**	**0.45**	**3.31**	**0.12**	**2.27**	**1.62**	**0.07**	**0.90**	**0.96**	**0.00**	**0.66**	**0.23**	**1.04**	**0.28**	**0.10**	**0.10**	**2.06**	**100.00**	**172.48**
		เฉลี่ยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	**67.53**	**0.63**	**1.81**	**1.69**	**0.94**	**0.69**	**1.78**	**0.33**	**0.37**	**0.19**	**0.30**	**0.30**	**8.21**	**0.39**	**3.88**	**0.30**	**1.69**	**2.03**	**0.15**	**1.18**	**0.93**	**0.00**	**0.51**	**0.24**	**1.25**	**0.36**	**0.07**	**0.07**	**2.18**	**100.00**	**176.82**

หมายเหตุ : 1) หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

2) ทำการสำรวจระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2546

ตารางที่ ข-4 องค์ประกอบทางกายภาพขยะมูลฝอยชุมชนตัวอย่างของจังหวัดในภาคตะวันออก

สสภ.	จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ / เทศบาล	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/นิตยสาร/กระดาษแข็ง เช่น แผงขนม	กระดาษคราฟ (ลูกฟูกสีน้ำตาล)	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP (ถุง/ขวด)		PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)		LDPE (ถุง/ขวด)		แก้วสีขาว	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อลูมิเนียม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลังไม้/กิ่งไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่านไฟฉาย/ถ่านโทรศัพท์/แบตเตอรี่	หลอดไฟฟ้า/กระป๋องสารเคมี (สเปรย์)	อื่น ๆ (ผ้าอนามัย/ผ้าอ้อมสำเร็จรูป/กระดาษทิชชู)	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
13	ชลบุรี	ทม. ชลบุรี	63.93	0.21	0.92	1.82	1.88	0.91	2.32	0.93	0.39	0.30	0.24	0.45	8.98	0.82	5.50	0.00	0.25	2.72	0.00	1.51	1.47	0.00	0.18	0.00	1.09	0.92	0.00	0.00	2.26	**100.00**	**146.66**
		ทต. เจ้าพระยาสุรศักดิ์ (อ่าวอุดม)	62.07	0.47	1.41	3.58	1.98	0.56	1.17	0.31	0.51	0.56	0.13	1.17	4.57	0.73	5.08	0.00	5.42	2.82	0.00	0.90	1.71	0.00	0.00	0.00	1.27	0.00	0.72	0.96	1.90	**100.00**	**161.90**
	ระยอง	ทน. ระยอง	51.37	3.40	2.07	2.56	0.22	1.22	2.54	0.69	0.08	0.40	0.95	0.55	4.91	0.29	6.56	0.00	5.33	2.15	0.00	1.28	4.00	0.00	0.13	0.55	2.40	0.00	0.00	0.60	5.75	**100.00**	**164.76**
	ตราด	ทม. ตราด	56.48	0.42	5.41	2.16	0.00	2.16	1.25	0.21	0.30	0.15	0.93	0.40	6.70	0.20	8.40	0.00	2.32	4.23	0.00	1.22	1.38	0.00	1.01	0.11	1.47	1.62	0.00	0.00	1.47	**100.00**	**173.33**
		ทต. บ่อพลอย	59.36	0.45	3.71	1.85	0.52	0.81	3.34	0.16	2.12	0.15	0.25	0.35	6.89	0.29	3.50	0.00	2.23	1.91	0.00	0.59	1.75	0.00	1.75	0.00	2.60	2.44	0.06	0.27	2.65	**100.00**	**180.95**
	จันทบุรี	ทม. จันทบุรี	59.73	1.09	1.27	3.16	0.66	0.91	3.43	0.59	0.20	0.11	2.37	0.73	5.85	0.40	6.22	0.00	0.38	0.91	0.00	0.78	1.69	0.00	0.00	0.08	5.33	0.00	0.00	0.00	4.11	**100.00**	**162.86**
		ทต. ปากน้ำแหลมสิงห์	56.51	0.20	4.86	1.85	2.45	1.00	2.51	1.17	0.29	0.20	0.54	0.29	8.82	0.06	7.35	0.00	1.04	1.47	0.00	1.95	1.46	0.00	0.98	0.00	1.85	0.00	0.03	0.24	2.88	**100.00**	**165.71**
	ฉะเชิงเทรา	ทม. ฉะเชิงเทรา	51.51	1.04	1.48	3.25	0.81	1.44	3.19	0.54	0.00	0.28	0.91	0.40	8.79	0.34	4.72	0.00	1.42	1.01	0.00	2.26	0.97	0.00	1.07	0.00	3.98	0.00	0.00	0.80	9.79	**100.00**	**189.04**
	สระแก้ว	ทม. สระแก้ว	69.53	0.12	1.12	1.16	0.71	0.44	2.74	0.53	0.00	0.07	0.51	0.58	11.94	0.21	4.99	0.11	0.16	0.10	0.00	0.71	0.22	0.00	0.86	0.06	0.59	0.05	0.00	0.00	2.49	**100.00**	**150.95**
		ทต. อรัญประเทศ	66.34	0.19	1.42	0.76	0.77	1.23	1.56	0.46	0.05	0.11	0.82	0.82	11.37	0.15	4.36	0.08	0.36	0.08	0.00	0.57	1.37	0.00	1.68	0.04	2.29	0.05	0.00	0.03	3.04	**100.00**	**176.66**
เฉลี่ย สสภ.13			**59.68**	**0.76**	**2.37**	**2.22**	**1.00**	**1.07**	**2.41**	**0.56**	**0.39**	**0.23**	**0.77**	**0.57**	**7.88**	**0.35**	**5.67**	**0.02**	**1.89**	**1.74**	**0.00**	**1.18**	**1.60**	**0.00**	**0.77**	**0.08**	**2.29**	**0.51**	**0.08**	**0.29**	**3.63**	**100.00**	**167.28**
เฉลี่ยภาคตะวันออก			**59.68**	**0.76**	**2.37**	**2.22**	**1.00**	**1.07**	**2.41**	**0.56**	**0.39**	**0.23**	**0.77**	**0.57**	**7.88**	**0.35**	**5.67**	**0.02**	**1.89**	**1.74**	**0.00**	**1.18**	**1.60**	**0.00**	**0.77**	**0.08**	**2.29**	**0.51**	**0.08**	**0.29**	**3.63**	**100.00**	**167.28**

หมายเหตุ : 1) หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

2) ทำการสำรวจระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2546

ตารางที่ ข-5 องค์ประกอบทางกายภาพขยะมูลฝอยชุมชนตัวอย่างของจังหวัดในภาคใต้

สสภ.	จังหวัด	องค์ประกอบทางกายภาพ / เทศบาล	เศษอาหารและอินทรีย์สาร	กระดาษขาว A4/สมุด	หนังสือพิมพ์	หนังสือ/นิตยสาร/กระดาษแข็ง เช่น แผงขนม	กระดาษคราฟ (ลูกฟูกสีน้ำตาล)	กล่องนม/น้ำผลไม้	PP (ถุง/ขวด)		PET	PVC	PS	EPS	HDPE (ถุง/ขวด)		LDPE (ถุง/ขวด)		แก้วสีขาว	แก้วสีชา	แก้วสีเขียว	อลูมิเนียม	เหล็ก/เหล็กเคลือบ	ทองแดง/ทองเหลือง	ไม้ (ลังไม้/กิ่งไม้)	ยาง	ผ้า	หนัง	ถ่านไฟฉาย/ถ่านโทรศัพท์/แบตเตอรี่	หลอดไฟฟ้า/กระป๋องสารเคมี (สเปรย์)	อื่น ๆ (ผ้าอนามัย/ผ้าอ้อมสำเร็จรูป/กระดาษทิชชู)	รวม (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
14	สุราษฎร์ธานี	ทม. สุราษฎร์ธานี	52.70	1.51	5.09	4.77	0.41	1.51	5.17	0.67	0.00	0.57	0.91	0.63	11.00	0.04	3.87	0.24	1.34	0.39	0.00	1.44	0.78	0.00	0.48	0.03	1.02	0.39	0.03	0.16	4.85	**100.00**	**223.22**
		ทต. เกาะสมุย	55.11	1.17	5.84	2.92	0.58	0.76	3.13	0.23	0.47	0.93	0.30	0.11	6.99	0.76	3.49	0.00	4.28	2.35	0.00	1.99	4.17	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12	**100.00**	**229.52**
	ชุมพร	ทม. ชุมพร	51.09	4.70	4.61	7.33	0.94	0.65	3.95	0.75	0.11	0.68	0.63	0.92	8.70	0.31	3.90	0.08	1.93	1.93	0.00	0.69	0.18	0.00	0.46	0.00	1.55	0.00	0.01	0.00	3.90	**100.00**	**228.57**
		ทต. หลังสวน	60.74	1.84	5.31	4.07	0.62	0.62	4.32	0.71	0.21	0.15	0.62	0.62	9.88	0.21	3.28	0.00	1.02	0.00	0.00	1.12	0.81	0.00	0.10	0.21	0.40	0.00	0.00	0.41	2.73	**100.00**	**247.62**
	นครศรีธรรมราช	ทน. นครศรีธรรมราช	58.20	1.06	4.83	5.06	0.00	0.84	2.53	0.63	0.00	0.63	0.32	0.53	7.58	0.00	3.31	0.21	1.48	2.13	0.00	2.01	1.06	0.00	0.32	2.13	2.95	0.00	0.00	0.00	2.19	**100.00**	**179.52**
		ทต. สิชล	67.27	1.03	4.10	3.94	0.50	0.82	3.31	0.29	0.05	0.62	0.62	0.31	6.18	0.00	2.67	0.00	0.62	0.30	0.00	0.62	1.87	0.00	0.52	1.89	0.21	0.00	0.29	0.00	1.97	**100.00**	**246.19**
	ระนอง	ทม. ระนอง	56.76	0.49	5.48	2.96	1.17	1.08	1.96	0.30	0.00	0.30	0.98	1.27	10.09	0.00	6.06	0.29	1.08	1.16	0.00	1.17	0.20	0.00	0.29	0.10	1.47	0.00	0.05	0.00	5.29	**100.00**	**206.19**
เฉลี่ย สสภ.14			**57.41**	**1.69**	**5.04**	**4.44**	**0.60**	**0.90**	**3.48**	**0.51**	**0.12**	**0.55**	**0.63**	**0.63**	**8.63**	**0.19**	**3.80**	**0.12**	**1.68**	**1.18**	**0.00**	**1.29**	**1.30**	**0.00**	**0.35**	**0.62**	**1.09**	**0.06**	**0.05**	**0.08**	**3.58**	**100.00**	**222.98**
15	ภูเก็ต	ทม. ภูเก็ต	59.53	0.29	2.22	2.22	0.99	2.35	3.84	0.13	0.13	0.27	0.10	0.34	8.19	0.10	4.43	0.23	2.30	2.26	0.00	0.43	1.30	0.00	0.23	0.33	1.66	0.24	0.21	0.78	4.90	**100.00**	**186.67**
	ตรัง	ทน. ตรัง	59.93	2.64	4.91	3.68	2.28	1.56	2.64	0.70	0.27	1.60	1.34	0.52	6.83	0.97	2.28	0.18	0.19	0.50	0.00	1.15	0.62	0.00	0.00	0.35	1.60	0.00	0.00	0.18	3.08	**100.00**	**196.19**
	กระบี่	ทม. กระบี่	52.33	0.75	4.94	3.27	1.96	0.51	2.04	0.51	0.44	0.60	0.58	0.51	5.24	0.00	5.47	0.12	2.30	7.88	0.28	1.11	1.68	0.00	0.39	0.57	3.57	0.00	0.00	0.00	2.95	**100.00**	**200.95**
	พังงา	ทม. พังงา	64.81	2.34	2.34	1.16	2.91	0.58	1.79	0.29	0.15	0.73	0.58	0.29	7.01	0.15	3.62	0.03	4.10	2.34	0.00	0.87	0.58	0.00	0.73	0.15	0.27	0.00	0.29	0.00	1.89	**100.00**	**206.19**
	สตูล	ทม. สตูล	52.55	2.17	3.16	4.13	2.90	0.43	4.57	0.94	0.17	1.19	0.45	0.70	11.03	0.11	3.60	0.00	0.67	2.35	0.00	1.00	1.50	0.00	0.13	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	5.69	**100.00**	**247.91**
เฉลี่ย สสภ.15			**57.83**	**1.64**	**3.51**	**2.89**	**2.21**	**1.09**	**2.98**	**0.51**	**0.23**	**0.88**	**0.61**	**0.47**	**7.66**	**0.27**	**3.88**	**0.11**	**1.91**	**3.07**	**0.06**	**0.91**	**1.14**	**0.00**	**0.30**	**0.28**	**1.53**	**0.05**	**0.10**	**0.19**	**3.70**	**100.00**	**207.58**
16	สงขลา	ทน. สงขลา	52.78	0.41	4.22	3.73	1.26	0.49	3.19	0.36	0.46	0.70	0.48	0.44	10.19	0.66	5.74	0.24	3.50	4.13	0.00	0.88	1.05	0.00	0.00	0.15	1.35	0.00	0.09	0.18	3.32	**100.00**	**243.30**
		ทน. หาดใหญ่	55.90	0.80	6.34	5.59	0.43	0.36	2.93	0.53	0.18	0.41	0.36	1.38	8.89	0.15	3.46	0.05	1.26	2.10	0.00	1.38	1.53	0.00	0.24	0.78	2.37	0.27	0.00	0.07	2.24	**100.00**	**208.10**
		ทต. สะเดา	65.28	0.18	3.57	1.39	1.68	0.53	1.63	0.36	0.53	0.27	0.36	0.36	7.08	0.45	2.87	0.05	1.78	3.71	0.00	0.94	2.78	0.00	0.00	0.36	0.36	0.00	0.36	0.00	3.12	**100.00**	**202.38**
	นราธิวาส	ทม. นราธิวาส	55.96	0.82	4.68	4.53	0.71	0.47	3.77	0.58	0.03	0.20	1.17	0.95	10.95	0.55	5.30	0.12	0.82	0.85	0.00	0.39	0.58	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.11	4.99	**100.00**	**169.53**
		ทต. สุไหงโก-ลก	52.55	0.55	8.24	5.60	2.91	0.33	3.84	0.35	0.00	0.27	0.18	0.37	10.93	0.18	6.02	0.00	0.00	0.62	0.00	1.82	0.80	0.00	0.18	0.00	0.18	0.00	0.18	0.00	3.90	**100.00**	**152.86**
	ปัตตานี	ทม. ปัตตานี	54.48	1.30	5.04	4.42	1.30	0.77	4.59	0.35	0.00	0.18	0.39	0.25	10.59	0.00	3.79	0.09	1.66	0.59	0.00	1.00	0.20	0.00	0.27	0.99	0.79	0.00	0.00	0.05	6.91	**100.00**	**190.00**
	พัทลุง	ทม. พัทลุง	66.29	0.49	5.19	5.29	0.53	0.26	1.81	0.34	0.02	0.13	0.32	0.26	8.91	0.07	3.48	0.00	0.78	0.32	0.00	0.52	0.49	0.00	0.00	0.17	1.10	0.00	0.00	0.00	3.23	**100.00**	**221.91**
	ยะลา	ทน. ยะลา	55.88	1.16	3.37	5.39	0.10	0.58	5.68	0.48	0.00	0.24	0.28	1.86	10.16	0.00	4.09	0.27	1.02	1.25	0.00	0.93	1.45	0.00	0.17	0.39	2.32	0.00	0.00	0.18	2.75	**100.00**	**200.00**
		ทต. เบตง	60.14	0.85	1.90	2.85	0.92	0.64	2.71	0.15	0.12	0.76	0.19	0.29	6.37	0.14	2.03	0.33	5.85	5.75	0.00	0.87	1.88	0.00	0.15	0.05	1.19	0.85	0.05	0.02	2.95	**100.00**	**208.57**
เฉลี่ย สสภ.16			**57.70**	**0.73**	**4.73**	**4.31**	**1.09**	**0.49**	**3.35**	**0.39**	**0.15**	**0.35**	**0.41**	**0.68**	**9.34**	**0.24**	**4.09**	**0.13**	**1.85**	**2.15**	**0.00**	**0.97**	**1.20**	**0.00**	**0.11**	**0.32**	**1.24**	**0.12**	**0.08**	**0.07**	**3.71**	**100.00**	**199.63**
เฉลี่ยภาคใต้			**57.65**	**1.35**	**4.43**	**3.88**	**1.30**	**0.83**	**3.27**	**0.47**	**0.17**	**0.59**	**0.55**	**0.59**	**8.54**	**0.23**	**3.92**	**0.12**	**1.81**	**2.13**	**0.02**	**1.06**	**1.21**	**0.00**	**0.25**	**0.41**	**1.28**	**0.08**	**0.08**	**0.11**	**3.66**	**100.00**	**209.40**

หมายเหตุ : 1) หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

2) ทำการสำรวจระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2546

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างแบบสอบถามและข้อมูลการสำรวจจากแบบสอบถาม

ภาคผนวก ค-1

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามผลการดำเนินงานโครงการด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

ข้อมูลทั่วไป

1. ข้อมูลพื้นฐาน

1.1 พื้นที่ของเทศบาล.....ตารางกิโลเมตร

1.2 สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2548)

จำนวน.....คน.....ครัวเรือน

2. ข้อมูลปริมาณและองค์ประกอบมูลฝอย

2.1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาล/อบจ.ทั้งหมดประมาณ.....ตัน/วัน

2.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถเก็บได้.....ตัน/วัน

คิดเป็นร้อยละ.....ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2.3 สถิติปริมาณขยะมูลฝอยรายปี

ปริมาณขยะมูลฝอย		ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548
เทศบาล/อบจ.	(ตัน/วัน)					
หน่วยงานภายนอก	(ตัน/วัน)					

2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย

☐ ปี พ.ศ. 2548

☐ ปี.....ที่มีการสำรวจล่าสุด และขอข้อมูลที่เคยเก็บมาวิเคราะห์ในอดีต (ขอเป็นเอกสารแนบ)

องค์ประกอบมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)										
เศษอาหาร	ใบไม้/เศษไม้	กระดาษ	พลาสติก	แก้ว	โลหะ	ยาง/หนัง	ผ้า	หิน/กระเบื้อง	อื่นๆ	รวม

หมายเหตุ: องค์ประกอบ/ประเภทของขยะมูลฝอยอาจเปลี่ยนแปลงตามลักษณะข้อมูลที่มีอยู่

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะมูลฝอย: ระบบเก็บขน

3. ข้อมูลทั่วไปของระบบเก็บขน

3.1 การดำเนินงานการเก็บขนขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ จัดจ้างเอกชน ในอัตรา.....บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ.....

.....

3.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้.....ตัน/วัน

หรือคิดเป็นร้อยละ.....ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

3.3 รายได้จากการจัดเก็บค่าธรรมเนียมเก็บขน.....บาท/เดือน

ประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมคิดเป็นร้อยละ.....

โดยจัดเก็บในอัตรา - ครัวเรือนละ.....บาท/เดือน

- สถานประกอบการ.....บาท/เดือน

3.4 ปัญหาอุปสรรคในการเก็บขนขยะมูลฝอย และการจัดเก็บค่าธรรมเนียม

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะชุมชน: ระบบกำจัด

4. ข้อมูลทั่วไปของระบบกำจัด

4.1 ระบบกำจัดขยะมูลฝอย ประกอบด้วย

☐ โรงคัดแยก (Sorting Plant) ขนาด.....ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ.....ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการคัดแยกร้อยละ.....

☐ สถานที่ฝังกลบ (Sanitary Landfill) ขนาด.....ไร่

ใช้พื้นที่ไปแล้ว.....ไร่ หรือร้อยละ.....

☐ โรงหมักปุ๋ย (Composting Plant) ขนาด.....ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ.....ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์.....ตัน/วัน หรือร้อยละ.....

☐ อื่นๆ ระบุ.....

4.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

☐ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digester; AD) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ เตาเผา (Incinerator) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas-to-Energy) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ ไม่มี

4.3 การบริหารดำเนินงานระบบกำจัดในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ จัดจ้างเอกชน ในอัตรา.....บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ.....

4.4 หน่วยงานอื่นที่มาใช้บริการระบบกำจัด

☐ ไม่มี

☐ มี คิดเป็นร้อยละ..... คิดค่าบริการในอัตรา.....บาท/ตัน

(โปรดระบุรายชื่อหน่วยงานที่มาใช้บริการระบบกำจัดหรือขอเป็นเอกสารแนบ)

1.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

2.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

3.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

4.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

5.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

6.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

7.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

8.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

9.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

10.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

ข้อมูลรายละเอียดโครงการ

4.5 รายละเอียดของโครงการ

1) ชื่อโครงการ
2) ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ
3) หลักการและเหตุผล
4) ลักษณะของโครงการ
   4.1) ข้อมูลทั่วไป
   4.2) ส่วนประกอบของระบบ (***ขอผังบริเวณระบบกำจัด*** เป็นเอกสารแนบ)
   4.3) ระบบการทำงาน (***ขอแผนภาพแสดงการทำงานของระบบ*** เป็นเอกสารแนบ)
5) งบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินการ

รายการ	มูลค่า	หน่วย
1. มูลค่าการลงทุน		
1.1 ค่าก่อสร้าง		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
1.2 ค่าที่ดิน		ล้านบาท
1.3 ค่าจ้างที่ปรึกษา		ล้านบาท
รวมมูลค่าการลงทุน		**ล้านบาท**
2. ค่าใช้จ่ายเดินระบบ		
2.1 ค่าบำรุงรักษา		ล้านบาท/ปี
2.2 ค่าจ้างบุคลากร		ล้านบาท/ปี
2.3 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		ล้านบาท/ปี
รวมมูลค่าใช้จ่ายเดินระบบ		**ล้านบาท/ปี**

6) ข้อมูลอื่นๆ

6.1) รายละเอียดการศึกษาความเป็นไปได้ และการออกแบบ เช่น

- ระยะเวลาและมูลค่า ในการศึกษาฯ และออกแบบ
- เกณฑ์ในการออกแบบ

6.2) ระยะการก่อสร้าง

6.3) ระยะเวลาในการทดสอบระบบ (Test run)

6.4) การกำหนดเงื่อนไขในการการันตีระบบ หรืออุปกรณ์ และการกำหนดค่าปรับ (ถ้ามี) เมื่อระบบไม่เป็นไปตามที่กำหนด

7) ผลการดำเนินงาน (***ขอรายงานผลการดำเนินงาน รายเดือน และรายปี*** เป็นเอกสารแนบ)

7.1) ปริมาณและประเภทของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพของระบบ (ความสามารถในการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นกระแสไฟฟ้า)

7.2) รายงานผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ

7.3) กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นพลังงาน/ปุ๋ยอินทรีย์ และผลผลิตของโครงการ เช่น 1. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ลบ.ม.ต่อตันขยะ)

2. กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด กระแสไฟฟ้าที่ผลิตใช้ในระบบ และกระแสไฟฟ้าสุทธิ

3. ปุ๋ยอินทรีย์ (ตันต่อตันขยะ)

7.4) ต้นทุนในการบริหารดำเนินการ และซ่อมบำรุง

7.5) รายได้ของโครงการ (จากการขายกระแสไฟฟ้า ปุ๋ยอินทรีย์ และค่าบริการกำจัด)

7.6) รายงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และอากาศที่ปล่อยออกสู่ชุมชนและสิ่งแวดล้อม

8) ปัญหาอุปสรรคในการดำเนินโครงการ

8.1) ปัญหาและอุปสรรคที่พบ***เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบและผลการดำเนินงานจริง***

ลักษณะปัญหาที่พบ	มี	ไม่มี	อธิบายและระบุสาเหตุของปัญหา
8.1) ความแตกต่างของปริมาณขยะมูลฝอย			
8.2) ความแตกต่างของลักษณะขยะมูลฝอย เช่น องค์ประกอบ ค่าความชื้น ค่าความร้อน เป็นต้น			
8.3) ปริมาณก๊าซ หรือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้			
8.4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน			

8.2) ผลประกอบการ (กำไร/ขาดทุน) พร้อมระบุสาเหตุ

.....

.....

.....

.....

.....

8.3) การดำเนินการและควบคุมระบบ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

- ความยากง่ายในการควบคุมระบบ (กรณีดำเนินการเอง)

.....

.....

.....

.....

- ความยากง่ายในการควบคุมเอกชน เช่น ความเข้าใจในรายละเอียดของเทคโนโลยีและการเดินระบบเพื่อนำมาควบคุมเอกชน เป็นต้น (กรณีจัดจ้างเอกชน)

.....

.....

.....

.....

8.4) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

8.5) ปัญหาด้านแรงงาน พนักงาน และวิศวกร (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

8.6) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

8.7) ปัญหาและอุปสรรคอื่นๆ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.8) แนวทางการแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาระบบในอนาคต หรือข้อเสนอแนะสำหรับโครงการที่จะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันแก่ อปท. อื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

------ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ-------

ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ.....สกุล.....

ตำแหน่ง.....

หมายเลขโทรศัพท์.....

ภาคผนวก ค-2

ข้อมูลการสำรวจจากแบบสอบถาม

โครงการกำจัดขยะโดยการใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ เกาะช้าง

แบบสอบถามผลการดำเนินงานโครงการด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

ข้อมูลทั่วไป

1. ข้อมูลพื้นฐาน

1.1 พื้นที่ของเทศบาล 429 ตารางกิโลเมตร

1.2 สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2548) (ข้อมูล พ.ศ. 2539)

จำนวน 4,269 คน 1,267 ครัวเรือน

2. ข้อมูลปริมาณและองค์ประกอบมูลฝอย

2.1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาล/อบจ.ทั้งหมดประมาณ 16 ตัน/วัน

2.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถเก็บได้ 16 ตัน/วัน

คิดเป็นร้อยละ 100 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2.3 สถิติปริมาณขยะมูลฝอยรายปี

ปริมาณขยะมูลฝอย		ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548
เทศบาล/อบจ.	(ตัน/วัน)					
หน่วยงานภายนอก	(ตัน/วัน)					

2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย

☐ ปี พ.ศ. 2548

☐ ปี 2542 ที่มีการสำรวจล่าสุด และขอข้อมูลที่เคยเก็บมาวิเคราะห์ในอดีต (ขอเป็นเอกสารแนบ)

องค์ประกอบมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)										
เศษอาหาร	ใบไม้/เศษไม้	กระดาษ	พลาสติก	แก้ว	โลหะ	ยาง/หนัง	ผ้า	หิน/กระเบื้อง	อื่นๆ	รวม
41.68	7.69	7.52	18.43	14.12	3.21	1.02	1.65	2.68	2	100

หมายเหตุ: องค์ประกอบ/ประเภทของขยะมูลฝอยอาจเปลี่ยนแปลงตามลักษณะข้อมูลที่มีอยู่

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะมูลฝอย: ระบบเก็บขน

3. ข้อมูลทั่วไปของระบบเก็บขน

3.1 การดำเนินงานการเก็บขนขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ จัดจ้างเอกชน ในอัตรา.....บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ อบต.เก็บขนเองอยู่ เพราะการโอนรถและคนขับ ยังไม่ชัดเจนเพราะอยู่ในการพิจารณาเรื่องกระบวนการจัดซื้อจัดจ้าง แต่เมื่อสัญญามีผลหน้าที่การเก็บ ขนมูลฝอยจะเป็นของเอกชน

3.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 16 ตัน/วัน

หรือคิดเป็นร้อยละ 100 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

3.3 รายได้จากการจัดเก็บค่าธรรมเนียมเก็บขน อบต.จัดการ บาท/เดือน

ประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมคิดเป็นร้อยละ อบต.จัดการ

โดยจัดเก็บในอัตรา - ครัวเรือนละ อบต.จัดการ บาท/เดือน

- สถานประกอบการ อบต.จัดการ บาท/เดือน

3.4 ปัญหาอุปสรรคในการเก็บขนขยะมูลฝอย และการจัดเก็บค่าธรรมเนียม

ยังไม่มี

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะชุมชน: ระบบกำจัด

4. ข้อมูลทั่วไปของระบบกำจัด

4.1 ระบบกำจัดขยะมูลฝอย ประกอบด้วย

☐ โรงคัดแยก (Sorting Plant) ขนาด 30 ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ 16 ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการคัดแยกร้อยละ.....

☐ สถานที่ฝังกลบ (Sanitary Landfill) ขนาด นำไปทิ้งที่บ่อฝังกลบของเทศบาลเมือง

ใช้พื้นที่ไปแล้ว.....ไร่ หรือร้อยละ.....

☐ โรงหมักปุ๋ย (Composting Plant) ขนาด 4 ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ รอการ start up ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์.....ตัน/วัน หรือร้อยละ.....

☐ อื่นๆ ระบุ.....

4.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

☐ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digester; AD) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ เตาเผา (Incinerator) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas-to-Energy) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ ไม่มี

4.3 การบริหารดำเนินงานระบบกำจัดในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ จัดจ้างเอกชน ในอัตรา.....บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ.....รอการเซ็นสัญญาแต่บริษัทฯ ดำเนินการกำจัดมูลฝอยแล้วตั้งแต่ 11 ตค 49.....

4.4 หน่วยงานอื่นที่มาใช้บริการระบบกำจัด

☐ ไม่มี

☐ มี คิดเป็นร้อยละ..... คิดค่าบริการในอัตรา.....บาท/ตัน

(โปรดระบุรายชื่อหน่วยงานที่มาใช้บริการระบบกำจัดหรือขอเป็นเอกสารแนบ)

1.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

2.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

3.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

4.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

5.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

6.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

7.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

8.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

9.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

10.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

ข้อมูลรายละเอียดโครงการ

4.5 รายละเอียดของโครงการ

1) ชื่อโครงการ **โครงการศูนย์กำจัดมูลฝอยอย่างยั่งยืน เกาะช้าง**
2) ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ **หมู่ 4 บ้านไชยเชษฐ์ ตำบลเกาะช้าง กิ่งอ.เกาะช้าง**
3) หลักการและเหตุผล
4) ลักษณะของโครงการ
   4.1) ข้อมูลทั่วไป
   4.2) ส่วนประกอบของระบบ (***ขอผังบริเวณระบบกำจัด*** เป็นเอกสารแนบ)
   4.3) ระบบการทำงาน (***ขอแผนภาพแสดงการทำงานของระบบ*** เป็นเอกสารแนบ)
5) งบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินการ

รายการ	มูลค่า	หน่วย
1. มูลค่าการลงทุน		
1.1 ค่าก่อสร้าง		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
1.2 ค่าที่ดิน		ล้านบาท
1.3 ค่าจ้างที่ปรึกษา		ล้านบาท
รวมมูลค่าการลงทุน		**ล้านบาท**
2. ค่าใช้จ่ายเดินระบบ		
2.1 ค่าบำรุงรักษา		ล้านบาท/ปี
2.2 ค่าจ้างบุคลากร		ล้านบาท/ปี
2.3 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		ล้านบาท/ปี
รวมมูลค่าใช้จ่ายเดินระบบ		**ล้านบาท/ปี**

6) ข้อมูลอื่นๆ

6.1) รายละเอียดการศึกษาความเป็นไปได้ และการออกแบบ เช่น

- ระยะเวลาและมูลค่า ในการศึกษาฯ และออกแบบ
- เกณฑ์ในการออกแบบ

6.2) ระยะการก่อสร้าง

6.3) ระยะเวลาในการทดสอบระบบ (Test run)

6.4) การกำหนดเงื่อนไขในการการันตีระบบ หรืออุปกรณ์ และการกำหนดค่าปรับ (ถ้ามี) เมื่อระบบไม่เป็นไปตามที่กำหนด

7) ผลการดำเนินงาน (***ขอรายงานผลการดำเนินงาน รายเดือน และรายปี*** เป็นเอกสารแนบ)

7.1) ปริมาณและประเภทของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพของระบบ (ความสามารถในการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นกระแสไฟฟ้า)

7.2) รายงานผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ

7.3) กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นพลังงาน/ปุ๋ยอินทรีย์ และผลผลิตของโครงการ

เช่น 1. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ลบ.ม.ต่อตันขยะ)

2. กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด กระแสไฟฟ้าที่ผลิตใช้ในระบบ และกระแสไฟฟ้าสุทธิ

3. ปุ๋ยอินทรีย์ (ตันต่อตันขยะ)

7.4) ต้นทุนในการบริหารดำเนินการ และซ่อมบำรุง

7.5) รายได้ของโครงการ (จากการขายกระแสไฟฟ้า ปุ๋ยอินทรีย์ และค่าบริการกำจัด)

7.6) รายงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และอากาศที่ปล่อยออกสู่ชุมชนและสิ่งแวดล้อม

8) ปัญหาอุปสรรคในการดำเนินโครงการ

8.1) ปัญหาและอุปสรรคที่พบ***เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบและผลการดำเนินงานจริง***

ลักษณะปัญหาที่พบ	มี	ไม่มี	อธิบายและระบุสาเหตุของปัญหา
8.1) ความแตกต่างของปริมาณขยะมูลฝอย	**มี**		เนื่องจากเป็นแหล่งท่องเที่ยวปริมาณมูลฝอยจะมากเมื่อเป็นช่วงวันหยุดและช่วงเทศกาล และจะมากเมื่อเป็นฤดูท่องเที่ยว ทำให้ปริมาณมูลฝอยต่อวันไม่คงที่
8.2) ความแตกต่างของลักษณะขยะมูลฝอย เช่น องค์ประกอบ ค่าความชื้น ค่าความร้อน เป็นต้น		**ไม่มี**	ยังไม่มีข้อมูล
8.3) ปริมาณก๊าซ หรือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้			รอการ Start Up
8.4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	**มี**		ยังไม่ได้รับค่าจ้าง

8.2) ผลประกอบการ (กำไร/ขาดทุน) พร้อมระบุสาเหตุ

เพิ่งดำเนินการ

8.3) การดำเนินการและควบคุมระบบ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

- ความยากง่ายในการควบคุมระบบ (กรณีดำเนินการเอง)

การควบคุมและดำเนินการระบบคัดแยกและอัดมูลฝอย สามารถดำเนินการได้ปานกลาง และจะมีประสิทธิภาพดีกว่านี้ถ้าประชาชนคัดแยกมูลฝอยจากต้นทางได้ดี

- ความยากง่ายในการควบคุมเอกชน เช่น ความเข้าใจในรายละเอียดของเทคโนโลยีและการเดินระบบเพื่อนำมาควบคุมเอกชน เป็นต้น (กรณีจัดจ้างเอกชน)

เอกชนดำเนินการเอง

8.4) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

ไม่มี

8.5) ปัญหาด้านแรงงาน พนักงาน และวิศวกร (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

มีปัญหาบุคคลากร เพราะเกาะช้างเป็นแหล่งท่องเที่ยว คนส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับด้านการท่องเที่ยว ซึ่งมีรายได้ดี ศูนย์กำจัดมูลฝอยจึงต้องจ้างบุคคลากรในอัตราที่สูงเพื่อจูงใจแรงงาน และพนักงาน

8.6) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

ไม่มี

8.7) ปัญหาและอุปสรรคอื่นๆ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

มีปัญหาเรื่องมูลฝอยที่เข้าโครงการ เป็นมูลฝอยรวมที่ยังไม่มีการแยกเก็บจากต้นทาง ทำให้การดำเนินการยังมีประสิทธิภาพปานกลาง

8.8) แนวทางการแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาระบบในอนาคต หรือข้อเสนอแนะสำหรับโครงการที่จะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันแก่ อปท. อื่นๆ

ต้องมีการรณรงค์การลดมูลฝอย การแยกมูลฝอย และการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยตั้งแต่ต้นทาง เพื่อให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการดำเนินการจัดการมูลฝอยของรัฐ

รัฐต้องให้การสนับสนุน ช่วยเหลือด้านต่างแก่ผู้ประกอบการเช่น การลดหย่อนภาษี แหล่งเงินทุนต่างๆ เพราะการจัดการมูลฝอยเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

การประสานงานระหว่างรัฐต่อรัฐยังไม่รวดเร็ว และไม่ชัดเจนเพราะทำให้ผู้ประกอบการประสบปัญหาด้านเงินหมุนเวียน

------ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ-------

ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ นาย ธวัฒน์ชัย สกุล จังมงคลกาล

ตำแหน่ง วิศวกรโยธา

หมายเลขโทรศัพท์ 023288319

ภาคผนวก ค-3

ข้อมูลการสำรวจจากแบบสอบถาม

โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน เทศบาลนครระยอง

แบบสอบถามผลการดำเนินงานโครงการด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

ข้อมูลทั่วไป

1. ข้อมูลพื้นฐาน

1.1 พื้นที่ของเทศบาล 16.95 ตารางกิโลเมตร

1.2 สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2548)

จำนวน 54,641 คน 25,631 ครัวเรือน

2. ข้อมูลปริมาณและองค์ประกอบมูลฝอย

2.1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาล/อบจ.ทั้งหมดประมาณ 86.33 ตัน/วัน

2.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถเก็บได้ 85.35 ตัน/วัน

คิดเป็นร้อยละ 98.86 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2.3 สถิติปริมาณขยะมูลฝอยรายปี

ปริมาณขยะมูลฝอย		ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548
เทศบาล/อบจ.	(ตัน/วัน)	71.30	76.04	81.93	86.32	85.35
หน่วยงานภายนอก	(ตัน/วัน)					

2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย

✓☐ ปี พ.ศ. 2548

☐ ปี..... ที่มีการสำรวจล่าสุด และขอข้อมูลที่เคยเก็บมาวิเคราะห์ในอดีต (ขอเป็นเอกสารแนบ)

องค์ประกอบมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)										
เศษอาหาร	ใบไม้/เศษไม้	กระดาษ	พลาสติก	แก้ว	โลหะ	ยาง/หนัง	ผ้า	หิน/กระเบื้อง	อื่นๆ	รวม
36.82	-	4.17	2.31	2.79	1.34	0.30	2.04	-	50.23	100

หมายเหตุ: องค์ประกอบ/ประเภทของขยะมูลฝอยอาจเปลี่ยนแปลงตามลักษณะข้อมูลที่มีอยู่

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะมูลฝอย: ระบบเก็บขน

3. ข้อมูลทั่วไปของระบบเก็บขน

3.1 การดำเนินงานการเก็บขนขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ ✓จัดจ้างเอกชน ในอัตรา 860 บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ.....

.....

3.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 85.35 ตัน/วัน

หรือคิดเป็นร้อยละ 98.86 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

3.3 รายได้จากการจัดเก็บค่าธรรมเนียมเก็บขน 4,722,825 บาท/เดือน

ประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมคิดเป็นร้อยละ 56.41

โดยจัดเก็บในอัตรา - ครัวเรือนละ 10 บาท/เดือน

- สถานประกอบการ 10-8,700 บาท/เดือน

3.4 ปัญหาอุปสรรคในการเก็บขนขยะมูลฝอย และการจัดเก็บค่าธรรมเนียม

ปริมาณขยะในถังมีจำนวนมากและประชาชนมีการทิ้งขยะไม่ลงถัง หรือถังขยะล้ม เนื่องมาจากสุนัขคุ้ยหาอาหารในถัง ทำให้ขยะหกเลอะเทอะบริเวณข้างถังขยะ ยากต่อการจัดเก็บ

.....

.....

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะชุมชน: ระบบกำจัด

4. ข้อมูลทั่วไปของระบบกำจัด

4.1 ระบบกำจัดขยะมูลฝอย ประกอบด้วย

☐ โรงคัดแยก (Sorting Plant) ขนาด 60 ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ 23.44 ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการคัดแยกร้อยละ 39.07

☐ สถานที่ฝังกลบ (Sanitary Landfill) ขนาด 74 ไร่ 63 ตารางวา

ใช้พื้นที่ไปแล้ว 16 ไร่ 200 ตารางวา หรือร้อยละ 22.12

☐ โรงหมักปุ๋ย (Composting Plant) ขนาด 60 ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ 20 ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 3 ตัน/วัน หรือร้อยละ 5

☐ อื่นๆ ระบุ.....

4.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

✓☐ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digester; AD) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ เตาเผา (Incinerator) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas-to-Energy) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ ไม่มี

4.3 การบริหารดำเนินงานระบบกำจัดในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ จัดจ้างเอกชน ขยะจากชุมชนในอัตรา.....400.....บาท/ตัน หรือขยะที่ผ่านการคัดแยก.....200.....บาท/ตัน

☐ อื่นๆระบุ.....

4.4 หน่วยงานอื่นที่มาใช้บริการระบบกำจัด

☐ ไม่มี

☐ มี คิดเป็นร้อยละ..... คิดค่าบริการในอัตรา.....บาท/ตัน

(โปรดระบุรายชื่อหน่วยงานที่มาใช้บริการระบบกำจัดหรือขอเป็นเอกสารแนบ)

1.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

2.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

3.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

4.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

5.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

6.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

7.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

8.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

9.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

10.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

ข้อมูลรายละเอียดโครงการ

4.5 รายละเอียดของโครงการ

1) ชื่อโครงการ
2) ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ
3) หลักการและเหตุผล
4) ลักษณะของโครงการ
   4.1) ข้อมูลทั่วไป
   4.2) ส่วนประกอบของระบบ (***ขอผังบริเวณระบบกำจัด*** เป็นเอกสารแนบ)
   4.3) ระบบการทำงาน (***ขอแผนภาพแสดงการทำงานของระบบ*** เป็นเอกสารแนบ)
5) งบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินการ

รายการ	มูลค่า	หน่วย
1. มูลค่าการลงทุน		
1.1 ค่าก่อสร้าง		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
----------		ล้านบาท
1.2 ค่าที่ดิน		ล้านบาท
1.3 ค่าจ้างที่ปรึกษา		ล้านบาท
รวมมูลค่าการลงทุน		**ล้านบาท**
2. ค่าใช้จ่ายเดินระบบ		
2.1 ค่าบำรุงรักษา		ล้านบาท/ปี
2.2 ค่าจ้างบุคลากร		ล้านบาท/ปี
2.3 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		ล้านบาท/ปี
รวมมูลค่าใช้จ่ายเดินระบบ		**ล้านบาท/ปี**

6) ข้อมูลอื่นๆ

6.1) รายละเอียดการศึกษาความเป็นไปได้ และการออกแบบ เช่น

- ระยะเวลาและมูลค่า ในการศึกษาฯ และออกแบบ
- เกณฑ์ในการออกแบบ

6.2) ระยะการก่อสร้าง

6.3) ระยะเวลาในการทดสอบระบบ (Test run)

6.4) การกำหนดเงื่อนไขในการการันตีระบบ หรืออุปกรณ์ และการกำหนดค่าปรับ (ถ้ามี) เมื่อระบบไม่เป็นไปตามที่กำหนด

7) ผลการดำเนินงาน (***ขอรายงานผลการดำเนินงาน รายเดือน และรายปี*** เป็นเอกสารแนบ)

7.1) ปริมาณและประเภทของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพของระบบ (ความสามารถในการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นกระแสไฟฟ้า)

7.2) รายงานผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ

7.3) กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นพลังงาน/ปุ๋ยอินทรีย์ และผลผลิตของโครงการ

เช่น 1. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ลบ.ม.ต่อตันขยะ)

2. กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด กระแสไฟฟ้าที่ผลิตใช้ในระบบ และกระแสไฟฟ้าสุทธิ

3. ปุ๋ยอินทรีย์ (ตันต่อตันขยะ)

7.4) ต้นทุนในการบริหารดำเนินการ และซ่อมบำรุง

7.5) รายได้ของโครงการ (จากการขายกระแสไฟฟ้า ปุ๋ยอินทรีย์ และค่าบริการกำจัด)

7.6) รายงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และอากาศที่ปล่อยออกสู่ชุมชนและสิ่งแวดล้อม

8) ปัญหาอุปสรรคในการดำเนินโครงการ

8.1) ปัญหาและอุปสรรคที่พบ***เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบและผลการดำเนินงานจริง***

ลักษณะปัญหาที่พบ	มี	ไม่มี	อธิบายและระบุสาเหตุของปัญหา
8.1) ความแตกต่างของปริมาณขยะมูลฝอย			
8.2) ความแตกต่างของลักษณะขยะมูลฝอย เช่น องค์ประกอบ ค่าความชื้น ค่าความร้อน เป็นต้น			
8.3) ปริมาณก๊าซ หรือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้			
8.4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน			

8.2) ผลประกอบการ (กำไร/ขาดทุน) พร้อมระบุสาเหตุ

.....

.....

.....

.....

.....

8.3) การดำเนินการและควบคุมระบบ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

- ความยากง่ายในการควบคุมระบบ (กรณีดำเนินการเอง)

.....

.....

.....

.....

- ความยากง่ายในการควบคุมเอกชน เช่น ความเข้าใจในรายละเอียดของเทคโนโลยีและการเดินระบบเพื่อนำมาควบคุมเอกชน เป็นต้น (กรณีจัดจ้างเอกชน)

.....

.....

.....

.....

8.4) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

8.5) ปัญหาด้านแรงงาน พนักงาน และวิศวกร (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

8.6) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

8.7) ปัญหาและอุปสรรคอื่นๆ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8.8) แนวทางการแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาระบบในอนาคต หรือข้อเสนอแนะสำหรับโครงการที่จะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันแก่ อปท. อื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

------ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ-------

ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ.....สกุล.....

ตำแหน่ง.....

หมายเลขโทรศัพท์.....

ภาคผนวก ค-4

ข้อมูลการสำรวจจากแบบสอบถาม

โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยราชาเทวะ

แบบสอบถามผลการดำเนินงานโครงการด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

ข้อมูลทั่วไป

1. ข้อมูลพื้นฐาน

1.1 พื้นที่ของเทศบาล 28 เขต ตารางกิโลเมตร

1.2 สถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร์ (ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2548)

จำนวน ..... คน ..... ครัวเรือน

2. ข้อมูลปริมาณและองค์ประกอบมูลฝอย

2.1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาล/อบจ.ทั้งหมดประมาณ 10000 ตัน/วัน

2.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถเก็บได้ 3500 ตัน/วัน

คิดเป็นร้อยละ 35 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2.3 สถิติปริมาณขยะมูลฝอยรายปี

ปริมาณขยะมูลฝอย		ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548
เทศบาล/อบจ.	(ตัน/วัน)	3500	3500	3500	3500	3500
หน่วยงานภายนอก	(ตัน/วัน)	300	300	300	300	300

2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย

☐ ปี พ.ศ. 2548

☑ ปี 2547 ที่มีการสำรวจล่าสุด และขอข้อมูลที่เคยเก็บมาวิเคราะห์ในอดีต (ขอเป็นเอกสารแนบ)

องค์ประกอบมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)										
เศษอาหาร	ใบไม้/เศษไม้	กระดาษ	พลาสติก	แก้ว	โลหะ	ยาง/หนัง	ผ้า	หิน/กระเบื้อง	อื่นๆ	รวม
34.74	6.17	10.40	25.08	2.97	0.57	0.22	4.77	0.34	14.44	100

หมายเหตุ: องค์ประกอบ/ประเภทของขยะมูลฝอยอาจเปลี่ยนแปลงตามลักษณะข้อมูลที่มีอยู่

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะมูลฝอย: ระบบเก็บขน

3. ข้อมูลทั่วไปของระบบเก็บขน

3.1 การดำเนินงานการเก็บขนขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☐ จัดจ้างเอกชน ในอัตรา.....บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ.....

.....

3.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้.....ตัน/วัน

หรือคิดเป็นร้อยละ.....ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

3.3 รายได้จากการจัดเก็บค่าธรรมเนียมเก็บขน.....บาท/เดือน

ประสิทธิภาพในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมคิดเป็นร้อยละ.....

โดยจัดเก็บในอัตรา - ครัวเรือนละ.....บาท/เดือน

- สถานประกอบการ.....บาท/เดือน

3.4 ปัญหาอุปสรรคในการเก็บขนขยะมูลฝอย และการจัดเก็บค่าธรรมเนียม

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อมูลทั่วไปด้านการจัดการขยะชุมชน: ระบบกำจัด

4. ข้อมูลทั่วไปของระบบกำจัด

4.1 ระบบกำจัดขยะมูลฝอย ประกอบด้วย

☐ โรงคัดแยก (Sorting Plant) ขนาด.....ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ.....ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการคัดแยกร้อยละ.....

☑ สถานที่ฝังกลบ (Sanitary Landfill) ขนาด 250 ไร่

ใช้พื้นที่ไปแล้ว 250 ไร่ หรือร้อยละ 100

☐ โรงหมักปุ๋ย (Composting Plant) ขนาด.....ตัน/วัน

ในการดำเนินงานจริง มีขยะเข้าสู่ระบบ.....ตัน/วัน

ประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์.....ตัน/วัน หรือร้อยละ.....

☐ อื่นๆ ระบุ.....

4.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

☐ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digester; AD)
แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ เตาเผา (Incinerator) แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☑ การใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas-to-Energy)
แบบ/เทคโนโลยี (โปรดระบุ).....

☐ ไม่มี

4.3 การบริหารดำเนินงานระบบกำจัดในปัจจุบัน

☐ เทศบาลดำเนินการเอง มีค่าใช้จ่าย.....บาท/ตัน

☑ จัดจ้างเอกชน ในอัตรา.....บาท/ตัน หรือ.....บาท/เดือน

☐ อื่นๆระบุ.....

4.4 หน่วยงานอื่นที่มาใช้บริการระบบกำจัด

☐ ไม่มี

☑ มี คิดเป็นร้อยละ 8.57 คิดค่าบริการในอัตรา 0 บาท/ตัน
(โปรดระบุรายชื่อหน่วยงานที่มาใช้บริการระบบกำจัดหรือขอเป็นเอกสารแนบ)

1.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
2.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
3.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
4.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
5.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
6.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
7.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
8.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
9.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน
10.....ปริมาณขยะ.....ตัน/วัน

ข้อมูลรายละเอียดโครงการ

4.5 รายละเอียดของโครงการ

1) ชื่อโครงการ: โรงไฟฟ้าราชาเทวะ
2) ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ: ตำบล ราชาเทวะ อำเภอ บางพลี จังหวัดสมุทรปราการ
3) หลักการและเหตุผล: จัดตั้งตามแนวทางพระราชดำริ และสนองนโยบายรัฐบาลเรื่องการใช้พลังงานทดแทน
4) ลักษณะของโครงการ
   4.1) ข้อมูลทั่วไป:
   4.2) ส่วนประกอบของระบบ (***ขอผังบริเวณระบบกำจัด*** เป็นเอกสารแนบ): ระบบรวบรวมแก๊ส ระบบดูดแก๊สและปรับปรุงคุณภาพแก๊ส เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบไฟฟ้ากำลัง
   4.3) ระบบการทำงาน (***ขอแผนภาพแสดงการทำงานของระบบ*** เป็นเอกสารแนบ): แก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายของมูลฝอย จะถูกรวบรวมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าออกมาเป็นกระแสแรงต่ำ จากนั้นกระแสจะผ่านหม้อแปลงเป็นไฟฟ้าแรงสูง และผ่านระบบเชื่อมโยงไฟฟ้าเพื่อส่งให้การไฟฟ้านครหลวง
5) งบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินการ

รายการ	มูลค่า	หน่วย
1. มูลค่าการลงทุน		
1.1 ค่าก่อสร้าง	60,000,000	ล้านบาท
ค่าระบบรวบรวมแก๊ส,ค่าระบบดูดแก๊สและปรับปรุงคุณภาพแก๊ส,ค่าเครื่องค่าระบบไฟฟ้ากำลัง,		ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท ล้านบาท
1.2 ค่าที่ดิน(ค่าเช่า)	0.3 ต่อปี	ล้านบาท
1.3 ค่าจ้างที่ปรึกษา	0	ล้านบาท

รวมมูลค่าการลงทุน		**ล้านบาท**
2. ค่าใช้จ่ายเดินระบบ		
2.1 ค่าบำรุงรักษา	3,000,000	ล้านบาท/ปี
2.2 ค่าจ้างบุคลากร	1,500,000	ล้านบาท/ปี
2.3 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	500,000	ล้านบาท/ปี
รวมมูลค่าใช้จ่ายเดินระบบ	5,,000,000	**ล้านบาท/ปี**

6) ข้อมูลอื่นๆ

6.1) รายละเอียดการศึกษาความเป็นไปได้ และการออกแบบ เช่น

- ระยะเวลาและมูลค่า ในการศึกษาฯ และออกแบบ: ออกแบบเอง
- เกณฑ์ในการออกแบบ:

1.1 ระบบรวบรวมแก๊ส: แต่ละหลุมสามารถดูดได้ไม่เกิน 1 m3/hr/m

1.2 ระบบดูดแก๊ส:ความสามารถในการดูด 1400 m3/hr สามารถปรับความดันระหว่าง 0-7 psi, อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส, ออกซิเจนไม่เกิน 2% Volume

6.2) ระยะการก่อสร้าง: 1 ปี

6.3) ระยะเวลาในการทดสอบระบบ (Test run): 1 ปี

6.4) การกำหนดเงื่อนไขในการการันตีระบบ หรืออุปกรณ์ และการกำหนดค่าปรับ (ถ้ามี) เมื่อระบบไม่เป็นไปตามที่กำหนด: สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ มีระยะเวลา 1 ปี

7) ผลการดำเนินงาน (***ขอรายงานผลการดำเนินงาน รายเดือน และรายปี*** เป็นเอกสารแนบ)

7.1) ปริมาณและประเภทของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพของระบบ (ความสามารถในการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นกระแสไฟฟ้า)

7.2) รายงานผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ

7.3) กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นพลังงาน/ปุ๋ยอินทรีย์ และผลผลิตของโครงการ

เช่น 1. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ลบ.ม.ต่อตันขยะ)

2. กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด กระแสไฟฟ้าที่ผลิตใช้ในระบบ และกระแสไฟฟ้าสุทธิ

3. ปุ๋ยอินทรีย์ (ตันต่อตันขยะ)

7.4) ต้นทุนในการบริหารดำเนินการ และซ่อมบำรุง

7.5) รายได้ของโครงการ (จากการขายกระแสไฟฟ้า ปุ๋ยอินทรีย์ และค่าบริการกำจัด)

7.6) รายงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และอากาศที่ปล่อยออกสู่ชุมชนและสิ่งแวดล้อม

8) ปัญหาอุปสรรคในการดำเนินโครงการ

8.1) ปัญหาและอุปสรรคที่พบ***เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบและผลการดำเนินงานจริง***

ลักษณะปัญหาที่พบ	มี	ไม่มี	อธิบายและระบุสาเหตุของปัญหา
8.1) ความแตกต่างของปริมาณขยะมูลฝอย			
8.2) ความแตกต่างของลักษณะขยะมูลฝอย เช่น องค์ประกอบ ค่าความชื้น ค่าความร้อน เป็นต้น			

8.3) ปริมาณก๊าซ หรือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้		/	
8.4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	/		มากกว่าที่คาดการณ์ไว้ทั้งนี้รวมถึงบุคคลกร ค่าซ่อมบำรุง ระบบรวบรวมแก๊ส

8.2) ผลประกอบการ (กำไร/ขาดทุน) พร้อมระบุสาเหตุ

ผลตอบแทนไม่เป็นไปตามที่คาดไว้เพราะ มีค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้ประเมินไว้ตอนประเมินทางเศรษฐศาสตร์เกิดขึ้น ค่อนข้างเยอะ เช่น ค่าซ่อมบำรุงระบบรวบรวมแก๊ส

8.3) การดำเนินการและควบคุมระบบ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

- ความยากง่ายในการควบคุมระบบ (กรณีดำเนินการเอง)

ค่อนข้างง่าย แต่มีปัญหาคือขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้โดยตรง เนื่องจากเครื่องนี้เป็นเครื่องแรกในประเทศไทย

- ความยากง่ายในการควบคุมเอกชน เช่น ความเข้าใจในรายละเอียดของเทคโนโลยีและการเดินระบบเพื่อนำมาควบคุมเอกชน เป็นต้น (กรณีจัดจ้างเอกชน)

8.4) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

โครงการนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีก เช่น ลดปริมาณแก๊สที่ทำลายชั้นบรรยากาศ และลดกลิ่นที่อาจจะรบกวนชาวบ้านในบางครั้งด้วย

8.5) ปัญหาด้านแรงงาน พนักงาน และวิศวกร (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

1. ขาดแคลนแรงงานที่มีความรู้ความเข้าใจเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้โดยตรง

8.6) ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

8.7) ปัญหาและอุปสรรคอื่นๆ (โปรดระบุลักษณะ สาเหตุ และแนวทางแก้ไข)

ปัญหาในขั้นตอนการดำเนินงานได้บรรยายไว้แล้ว เหลือเพียงแต่ปัญหาทางด้านการติดต่อกับหน่วยงานราชการ

1. ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างโรงไฟฟ้า ต้องใช้เวลาในการขออนุญาตกับหน่วยงานราชการมากมาย รวมทั้งต้องใช้เวลาในการขอนานมาก ซึ่งควรจะลดขั้นตอนการขออนุญาตเพื่อสนับสนุนนโยบายพลังงานทดแทน
2. การเก็บค่าไฟฟ้า ในกฎ VSPP ระบุไว้ว่าเอกชนจะต้องจ่ายเงินค่าไฟฟ้าภายใน 15 วัน หลังจากได้รับใบแจ้งหนี้ และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะจ่ายเงินให้เอกชนภายใน 30 วัน หลังจากได้รับใบแจ้งหนี้ แต่ก่อนหน้าที่เอกชนจะทำใบแจ้งหนี้ การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายใช้เวลาในการคิดค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้เอกชนอีก 30 วัน ซึ่งรวมแล้วต้องใช้เวลาถึง 60 วันกว่าจะได้รับเงินค่าไฟฟ้า

8.8) แนวทางการแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาระบบในอนาคต หรือข้อเสนอแนะสำหรับโครงการที่จะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันแก่ อปท. อื่นๆ

------ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ-------

ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ เสาวลักษณ์ สกุล เจริญพจน์

ตำแหน่ง วิศวกรประจำโครงการ

หมายเลขโทรศัพท์ 0-2328-8319

ภาคผนวก ค-5

ข้อมูลการสำรวจจากแบบสอบถาม

โครงการเตาเผาและผลิตพลังงาน เทศบาลนครภูเก็ต

ที่ ภก 52006.4/ 8888

สำนักงานเทศบาลนครภูเก็ต
ถนนนริศร 83000

19 ธันวาคม 2549

เรื่อง ส่งแบบสอบถาม

เรียน ประธานกรรมการบริหารมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

อ้างถึง หนังสือมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ที่ มสพภ.4909160/2 ลงวันที่ 4 ตุลาคม 2549

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบสอบถาม จำนวน 1 ชุด

ตามหนังสือที่อ้างถึง มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ได้รับมอบหมายจากสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา เป็นที่ปรึกษาดำเนินโครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน โดยดำเนินการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลจากรายงานผลการศึกษาที่ผ่านมาของหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการโครงการวิจัย นั้น

เทศบาลนครภูเก็ต ได้กรอกข้อมูลแบบสอบถาม และได้ส่งมาเพื่อดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นายกวี ตันสุขตานนท์)
รองนายกเทศมนตรี ปฏิบัติราชการแทน
นายกเทศมนตรีนครภูเก็ต

กลุ่มงานสิ่งแวดล้อม
สำนักการช่าง
โทร. (076) 212314, 250437
โทรสาร. (076) 250439

สถิติการผลิต การใช้กระแสไฟฟ้า ส่งให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และรับจาก กฟภ.

ตั้งแต่เริ่มดำเนินการวันที่ ถึงวันที่ พ.ศ.2548

รอบเดือนรายงานที่	ระหว่างวันเดือนปี	ปริมาณมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ไม่รวมน้ำ (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้และการใช้ (kWh)			ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการ (kWh)		ปริมาณไฟฟ้าเฉลี่ย (หน่วย/วัน)*		
			ผลิตได้	ส่งให้ กฟภ	ใช้ในโครงการ	รับจากกฟภ.	รวม	ผลิตได้	ส่งให้กฟภ.	ใช้ในโครงการ
1	1 มี.ค.48 - 30 มี.ค.48	651.04	97,300	44,733	52,567	127,314	162,575	12,163	5,592	5,086
2	31 มี.ค.48 - 29 เม.ย.48	5,855.06	952,800	411,755	465,147	97,546	562,693	39,700	17,156	18,756
3	30 เม.ย.48 - 29 พ.ค.48	7,278.19	1,054,400	435,118	552,714	81,665	634,379	35,147	14,504	21,146
4	30 พ.ค.48 - 28 ก.ย.48	7,910.96	1,074,500	407,677	591,301	54,054	645,355	36,817	13,589	21,512
5	29 ก.ย.48 - 27 พ.ย.48	7,721.18	943,387	339,677	559,554	54,088	606,642	31,446	11,323	20,221
6	28 พ.ย.48 - 26 ก.ค.48	5,813.90	933,100	457,204	437,524	67,689	505,213	44,433	21,772	16,840
7	27 ก.ค.48 - 26 ต.ค.48	6,918.16	1,058,117	524,805	525,076	66,096	591,168	40,697	20,185	19,706
8	27 ต.ค.48 - 25 พ.ย.48	8,022.27	1,149,798	520,062	620,190	20,682	640,872	38,327	17,335	21,362
9	26 พ.ย.48 - 25 ธ.ค.48	7,994.73	1,167,602	519,997	606,537	23,124	629,661	36,817	15,987	18,402
10	26 ธ.ค.48 - 24 ม.ค.49	7,728.80	1,146,619	409,230	596,939	28,585	625,524	38,221	16,541	20,851
11	25 ธ.ค.48 - 24 ม.ค.49	6,943.41	1,038,304	476,689	512,663	69,381	582,044	38,456	17,655	19,401
12	25 ม.ค.49 - 20 มี.ค.49	10,206.98	1,571,415	713,161	707,904	149,941	857,845	42,471	19,975	15,597
รวม		83,044.68	12,187,342	5,347,108	6,221,112	840,165	7,033,971			
เฉลี่ยต่อตัน (ไม่รวมน้ำ)			147			10	84,70	36,141	15,910	18,240

สรุป ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวม 12,187,342 kWh หรือ 36,141 kwh/day

ปริมาณไฟฟ้าที่ส่งให้ กฟภ. 5,347,108 kWh หรือ 15,910 kwh/day

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการรวม 7,033,971 kWh หรือ 18,240 kwh/day

สถิติปริมาณมูลฝอยที่ทำการรับและเผา รวมทั้งปริมาณเถ้าหนักและปริมาณเถ้าเบาที่เกิดขึ้น

ตั้งแต่เริ่มดำเนินการวันที่ 1 มี.ค. 2548 ถึงวันที่ 30 มี.ค. 2549 พ.ศ. 2548

รอบเดือนรายงานที่	ระหว่างวัน-เดือน-ปี	ปริมาณมูลฝอยไม่รวมน้ำที่รับเข้าโรงเผา (ตัน)	ปริมาณมูลฝอยไม่รวมน้ำ*			ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ตัน)		เฉลี่ยการเผามูลฝอยไม่รวมน้ำ	
			ถูกเผา (ตัน)	ถูกคัดแยก (ตัน)	เฉลี่ยเผา (ตัน/วัน)	เถ้าหนัก	เถ้าเบา	วัน	ตัน/วัน
1	1 มี.ค. 48 - 30 มี.ค. 48	1,173.36	651.04	158.96	81.38	91.05	0.00	8	
2	31 มี.ค. 48 - 29 เม.ย. 48	5,521.37	5,855.05	116.39	213.96	971.32	91.49	24	
3	30 เม.ย. 48 - 29 พ.ค. 48	7,513.47	7,278.19	152.92	242.61	1,489.79	130.57	30	
4	30 พ.ค. 48 - 28 มิ.ย. 48	7,818.88	7,910.96	242.95	263.70	1,341.66	465.28	30	
5	29 มิ.ย. 48 - 28 ก.ค. 48	7,819.71	7,721.18	201.34	257.70	1,333.98	179.67	30	
6	29 ก.ค. 48 - 27 ส.ค. 48	5,123.48	5,813.90	182.90	276.85	1,048.91	485.90	21	
7	28 ส.ค. 48 - 26 ก.ย. 48	7,369.09	6,918.16	152.80	266.08	1,485.65	131.74	26	
8	27 ก.ย. 48 - 26 ต.ค. 48	9,046.91	8,022.27	175.09	267.41	1,757.86	276.30	30	
9	27 ต.ค. 48 - 25 พ.ย. 48	8,565.17	7,994.73	172.90	266.49	1,814.33	178.04	30	
10	26 พ.ย. 48 - 25 ธ.ค. 48	8,377.83	7,728.80	152.34	257.63	1,986.12	240.66	30	
11	26 ธ.ค. 48 - 24 ม.ค. 49	8,623.19	6,943.40	111.55	257.16	1,514.08	232.84	27	
12	25 ม.ค. 49 - 30 มี.ค. 49	11,080.96	10,206.98	220.91	275.86	1,942.68	487.13	37	
รวม		88,033.42	83,044.66			16,777.33	2,899.62	323	257.10
เฉลี่ย		7,336.12	6,920.39			1,398.11	241.64		
ร้อยละ						20.20	3.49		

สรุปการดำเนินงาน

1 มีการรับปริมาณมูลฝอยผ่านเครื่องชั่ง 156,708.22 ตัน — เฉลี่ยตัน/เดือน

2 เผามูลฝอยได้ 83,044.66 ตัน 6,920.39 เฉลี่ยตัน/เดือน

3 มีปริมาณเถ้าหนักรวม 16,777.33 ตัน 1,398.11 เฉลี่ยตัน/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 20.20

4 มีปริมาณเถ้าเบารวม 2,899.62 ตัน 241.64 เฉลี่ยตัน/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 3.49

5 มีการรับปริมาณมูลฝอยผ่านเครื่องชั่ง 405.17 ตัน/วัน

ภาคผนวก ง

ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เรื่อง การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เรื่อง การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ด้วย คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ในการประชุมเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2549 ได้มีมติเห็นชอบตามมติคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ในการประชุมเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2549 โดยเห็นชอบการกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขายไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ซึ่งขายไฟฟ้าเข้าระบบตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 29 แห่งพระราชบัญญัติการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ. 2503 จึงขอประกาศสาระสำคัญของการให้ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า ดังนี้

1. ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) แยกตามประเภทเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง	อัตราส่วนเพิ่ม (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
ชีวมวล 1/	0.30
พลังน้ำขนาดเล็ก (50-200 กิโลวัตต์)	0.40
พลังน้ำขนาดเล็ก (< 50 กิโลวัตต์)	0.80
ขยะ 2/	2.50
พลังงานลม	2.50
พลังงานแสงอาทิตย์ 3/	8.00

หมายเหตุ: 1/ ชีวมวล หมายถึง กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ในการเกษตร หรือกากจากการผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เศษไม้ หรือไม้จากการปลูกป่าเป็นเชื้อเพลิง

2/ ขยะ หมายถึง ขยะชุมชนทุกเทคโนโลยี

3/ พลังงานแสงอาทิตย์ หมายความรวมถึงการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้า (Solar Thermal) ด้วย

2. ระยะเวลาให้การสนับสนุน กำหนดให้การสนับสนุนเป็นระยะเวลา 7 ปี นับจากวันเริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ (Commercial Operation Date : COD)

\ 3. การบังคับใช้

3. การบังคับใช้

3.1 ผู้มีสิทธิ์ได้รับส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า

3.1.1 ผู้ผลิตไฟฟ้ารายใหม่ที่ยื่นคำร้องขอขายไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ภายหลังวันที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคออกประกาศขยายระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจาก VSPP

3.1.2 ผู้ผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการตอบรับซื้อไฟฟ้าหรือทำสัญญาซื้อไฟฟ้าแล้ว ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมากไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ หรือระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) แต่ยังไม่ขายไฟฟ้าเข้าระบบ และประสงค์จะเปลี่ยนเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 10 เมกะวัตต์

3.1.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าที่ขายไฟฟ้าเข้าระบบแล้ว ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ หรือระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) ที่ครบอายุสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแล้ว และประสงค์จะเปลี่ยนเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 10 เมกะวัตต์

ทั้งนี้ ผู้มีสิทธิ์ได้รับส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า ตามข้อ 3.1 จะต้องดำเนินการยื่นข้อเสนอภายในปี พ.ศ. 2551

3.2 ผู้ไม่มีสิทธิ์รับส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า

3.2.1 ผู้ผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการสนับสนุนเงินลงทุนในการผลิตไฟฟ้าตามนโยบายรัฐบาลในรูปแบบอื่นๆ แล้ว

3.2.2 ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ที่ได้รับเงินอุดหนุนส่วนเพิ่มค่าพลังงานไฟฟ้าตามโครงการส่งเสริมผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่ใช้พลังงานหมุนเวียน จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

4. การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ได้รับจากส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มที่ VSPP ได้รับ = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าขายเข้าระบบสุทธิ * X ราคาส่วนเพิ่มตามประเภทเชื้อเพลิง

หมายเหตุ : * ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสุทธิ ก่อนหักค่าดำเนินการร้อยละ 2

5. **ภาระค่าไฟฟ้า** มูลค่าการรับซื้อไฟฟ้าตามส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า ในข้อ 4 จะส่งผ่านค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F_t)

จึงประกาศมาเพื่อทราบโดยทั่วกัน

ประกาศ ณ วันที่ 1 ก.พ. 2550

(นายประเจิด สุขแก้ว)

ผู้ว่าการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

แบบฟอร์มการขอรับส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder)
สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

วันที่.....

ข้าพเจ้า.....ได้ยื่นคำร้องในฐานะเป็น.....
กิจการ หรือ บริษัท.....ตั้งอยู่ที่.....มีความประสงค์ขอรับส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยใช้เชื้อเพลิงจาก

- ☐ ชีวมวล ได้รับอัตราส่วนเพิ่ม 0.30 บาท/กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
- ☐ พลังน้ำขนาดเล็ก (50-200 กิโลวัตต์) ได้รับอัตราส่วนเพิ่ม 0.40 บาท/กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
- ☐ พลังน้ำขนาดเล็ก (< 50 กิโลวัตต์) ได้รับอัตราส่วนเพิ่ม 0.80 บาท/กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
- ☐ ขยะ ได้รับอัตราส่วนเพิ่ม 2.50 บาท/กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
- ☐ พลังงานลม ได้รับอัตราส่วนเพิ่ม 2.50 บาท/กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
- ☐ พลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับอัตราส่วนเพิ่ม 8.00 บาท/กิโลวัตต์ – ชั่วโมง

โดยข้าพเจ้ามีคุณสมบัติเป็นผู้มีสิทธิ์ได้รับส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า ดังนี้

- ☐ เป็นผู้ผลิตไฟฟ้ารายใหม่ที่ยื่นคำร้องขอขายไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ขนาดไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ภายหลังวันที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคออกประกาศขยายระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)
- ☐ เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการตอบรับซื้อไฟฟ้าหรือทำสัญญาซื้อไฟฟ้าแล้ว ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ หรือระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) แต่ยังไม่ขายไฟฟ้าเข้าระบบ และประสงค์จะเปลี่ยนเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 10 เมกะวัตต์
- ☐ เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าที่ขายไฟฟ้าเข้าระบบแล้วตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ หรือระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) ที่ครบอายุสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแล้ว และประสงค์จะเปลี่ยนเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ไม่เกิน 10 เมกะวัตต์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ข้าพเจ้าไม่เคยได้รับการสนับสนุนเงินลงทุนในการผลิตไฟฟ้ารูปแบบอื่น ๆ และไม่เคยได้รับเงินอุดหนุนส่วนเพิ่มค่าพลังงานไฟฟ้าตามโครงการส่งเสริมผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่ใช้พลังงานหมุนเวียน จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวที่ระบุไว้ข้างต้นเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....ผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน
(.....)
ตำแหน่ง.....

ภาคผนวก จ

รายละเอียดการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน

สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน

โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน

ระยะเวลาของโครงการ	20	ปี
ระยะเวลาในการก่อสร้าง	2	ปี
อัตราคิดลด	5%	
อัตราเงินเฟ้อ	2%	
การลงทุนในการก่อสร้าง		
- การลงทุนในปีที่ 1	50%	
- การลงทุนในปีที่ 2	50%	
ต้นทุนการลงทุน		
Incinerator	4.00	M/TPD
AD	3.00	M/TPD
ต้นทุนดำเนินการ/บำรุงรักษา	2.50%	ของงบลงทุน
ต้นทุนบุคคล	4.46	บาท/ปี
ต้นทุนฝังกลบ	300.00	บาทต่อตัน
ผลผลิตของโครงการ		
อัตราจำหน่ายกระแสไฟฟ้า	4.50	บาทต่อหน่วย
ราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ค่ากำจัดขยะ	1,000.00	บาทต่อตัน
อัตราค่ากำจัดขยะ	385.00	บาทต่อตัน
ปริมาณขยะชุมชน	100.00	ตัน/วัน
ขยะคัดทิ้ง	7.82	ตัน/วัน
ขยะอินทรีย์เข้าสู่AD	30.72	ตัน/วัน
ขยะเข้าสู่ระบบเตาเผา	61.47	ตัน/วัน
อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะ	2%	ต่อปี
ค่าความร้อนของขยะเข้าสู่เตาเผา	2,029	kcal/kg

Direct Cost	no.	B/M	B/Y
Manager	1	70,000	840,000
operator	4	15000	720,000
others	15	8000	1,440,000
total			3,000,000
other benefit			300,000
total			3,300,000

Investment Cost	4	M/ton per day

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนลดลง 20%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year																					
		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	320.00	160.00	160.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				8.00	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**160.00**	**160.00**	**14.92**	**15.22**	**15.36**	**15.50**	**15.65**	**15.86**	**16.14**	**16.43**	**16.73**	**17.03**	**17.34**	**17.65**	**18.02**	**18.42**	**18.83**	**19.25**	**19.68**	**20.11**	**20.56**	**21.01**
Net Cashflow before tax		**(160.00)**	**(160.00)**	**53.57**	**54.64**	**55.90**	**57.18**	**58.49**	**59.34**	**59.57**	**59.82**	**60.07**	**60.32**	**60.58**	**60.84**	**60.90**	**60.86**	**60.81**	**60.77**	**60.72**	**60.67**	**60.62**	**60.57**

IRR	15.81%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนลดลง 15%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year -1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	340.00	170.00	170.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				8.50	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**170.00**	**170.00**	**15.42**	**15.73**	**15.87**	**16.01**	**16.16**	**16.37**	**16.65**	**16.94**	**17.24**	**17.54**	**17.85**	**18.16**	**18.53**	**18.93**	**19.34**	**19.76**	**20.19**	**20.62**	**21.07**	**21.52**
Net Cashflow before tax		**(170.00)**	**(170.00)**	**53.07**	**54.13**	**55.39**	**56.67**	**57.98**	**58.83**	**59.06**	**59.31**	**59.56**	**59.81**	**60.07**	**60.33**	**60.39**	**60.35**	**60.30**	**60.26**	**60.21**	**60.16**	**60.11**	**60.06**

IRR	14.67%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนลดลง 10%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year																					
		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	360.00	180.00	180.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				9.00	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**180.00**	**180.00**	**15.92**	**16.24**	**16.38**	**16.52**	**16.67**	**16.88**	**17.16**	**17.45**	**17.75**	**18.05**	**18.36**	**18.67**	**19.04**	**19.44**	**19.85**	**20.27**	**20.70**	**21.13**	**21.58**	**22.03**
Net Cashflow before tax		**(180.00)**	**(180.00)**	**52.57**	**53.62**	**54.88**	**56.16**	**57.47**	**58.32**	**58.55**	**58.80**	**59.05**	**59.30**	**59.56**	**59.82**	**59.88**	**59.84**	**59.79**	**59.75**	**59.70**	**59.65**	**59.60**	**59.55**

IRR	13.64%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนลดลง 5%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year -1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	380.00	190.00	190.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				9.50	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69	9.69
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**190.00**	**190.00**	**16.42**	**16.75**	**16.89**	**17.03**	**17.18**	**17.39**	**17.67**	**17.96**	**18.26**	**18.56**	**18.87**	**19.18**	**19.55**	**19.95**	**20.36**	**20.78**	**21.21**	**21.64**	**22.09**	**22.54**
Net Cashflow before tax		**(190.00)**	**(190.00)**	**52.07**	**53.11**	**54.37**	**55.65**	**56.96**	**57.81**	**58.04**	**58.29**	**58.54**	**58.79**	**59.05**	**59.31**	**59.37**	**59.33**	**59.28**	**59.24**	**59.19**	**59.14**	**59.09**	**59.04**

IRR	12.68%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช่ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุน 400 ล้านบาท)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year																					
		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	400.00	200.00	200.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				10.00	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**200.00**	**200.00**	**16.92**	**17.26**	**17.40**	**17.54**	**17.69**	**17.90**	**18.18**	**18.47**	**18.77**	**19.07**	**19.38**	**19.69**	**20.06**	**20.46**	**20.87**	**21.29**	**21.72**	**22.15**	**22.60**	**23.05**
Net Cashflow before tax		**(200.00)**	**(200.00)**	**51.57**	**52.60**	**53.86**	**55.14**	**56.45**	**57.30**	**57.53**	**57.78**	**58.03**	**58.28**	**58.54**	**58.80**	**58.86**	**58.82**	**58.77**	**58.73**	**58.68**	**58.63**	**58.58**	**58.53**

IRR	11.80%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช่ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้น 5%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year -1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	420.00	210.00	210.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				10.50	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71	10.71
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**210.00**	**210.00**	**17.42**	**17.77**	**17.91**	**18.05**	**18.20**	**18.41**	**18.69**	**18.98**	**19.28**	**19.58**	**19.89**	**20.20**	**20.57**	**20.97**	**21.38**	**21.80**	**22.23**	**22.66**	**23.11**	**23.56**
Net Cashflow before tax		**(210.00)**	**(210.00)**	**51.07**	**52.09**	**53.35**	**54.63**	**55.94**	**56.79**	**57.02**	**57.27**	**57.52**	**57.77**	**58.03**	**58.29**	**58.35**	**58.31**	**58.26**	**58.22**	**58.17**	**58.12**	**58.07**	**58.02**

IRR	10.99%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้น 10%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year																					
		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	440.00	220.00	220.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				11.00	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22	11.22
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**220.00**	**220.00**	**17.92**	**18.28**	**18.42**	**18.56**	**18.71**	**18.92**	**19.20**	**19.49**	**19.79**	**20.09**	**20.40**	**20.71**	**21.08**	**21.48**	**21.89**	**22.31**	**22.74**	**23.17**	**23.62**	**24.07**
Net Cashflow before tax		**(220.00)**	**(220.00)**	**50.57**	**51.58**	**52.84**	**54.12**	**55.43**	**56.28**	**56.51**	**56.76**	**57.01**	**57.26**	**57.52**	**57.78**	**57.84**	**57.80**	**57.75**	**57.71**	**57.66**	**57.61**	**57.56**	**57.51**

IRR	10.23%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช่ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้น 15%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year -1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	460.00	230.00	230.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				11.50	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**230.00**	**230.00**	**18.42**	**18.79**	**18.93**	**19.07**	**19.22**	**19.43**	**19.71**	**20.00**	**20.30**	**20.60**	**20.91**	**21.22**	**21.59**	**21.99**	**22.40**	**22.82**	**23.25**	**23.68**	**24.13**	**24.58**
Net Cashflow before tax		**(230.00)**	**(230.00)**	**50.07**	**51.07**	**52.33**	**53.61**	**54.92**	**55.77**	**56.00**	**56.25**	**56.50**	**56.75**	**57.01**	**57.27**	**57.33**	**57.29**	**57.24**	**57.20**	**57.15**	**57.10**	**57.05**	**57.00**

IRR	9.51%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช่ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้น 20%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year -1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	480.00	240.00	240.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				12.00	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24	12.24
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**240.00**	**240.00**	**18.92**	**19.30**	**19.44**	**19.58**	**19.73**	**19.94**	**20.22**	**20.51**	**20.81**	**21.11**	**21.42**	**21.73**	**22.10**	**22.50**	**22.91**	**23.33**	**23.76**	**24.19**	**24.64**	**25.09**
Net Cashflow before tax		**(240.00)**	**(240.00)**	**49.57**	**50.56**	**51.82**	**53.10**	**54.41**	**55.26**	**55.49**	**55.74**	**55.99**	**56.24**	**56.50**	**56.76**	**56.82**	**56.78**	**56.73**	**56.69**	**56.64**	**56.59**	**56.54**	**56.49**

IRR	8.84%

การวิเคราะห์ความเป็นได้ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน กรณี เตาเผาและระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ที่มูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้น 25%)

Cash Flow Analysis

Description	Investment Cost	Year -1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Plant Performance																							
Waste Volume(ton/day)		100	102	104	106	108	110	113	115	117	120	122	124	127	129	132	135	137	140	143	146	149	152
Reject at front end (ton/day)		7.82	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	10.11	10.31	10.52	10.73	10.94	11.16	11.38	11.61	11.84
Waste to front end(ton/day)		92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129	132	134	137	140
Plant Capacity																							
- Incinerator(ton/day)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
- AD(ton/day)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Waste to Disposal																							
Waste to incinerator(ton/day)		61	63	64	65	67	68	69	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Waste to AD(ton/day)		31	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Total Waste to disposal		92	94	96	98	100	102	104	105	106	107	107	108	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Reject to landfill (ton/day)		21.64	22.08	22.52	22.97	23.43	23.90	24.37	25.38	27.08	28.81	30.57	32.38	34.21	36.09	38.45	41.09	43.78	46.52	49.32	52.18	55.09	58.07
Energy sell(Mw-hr)																							
From Incinerator(MW-hr)		9.57	9.76	9.95	10.15	10.36	10.56	10.77	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	10.89
From AD(MW-hr)		1.72	1.76	1.79	1.83	1.87	1.90	1.94	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.19	2.23	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Total Energy Sell(MW-hr)		**11.29**	**11.52**	**11.75**	**11.98**	**12.22**	**12.47**	**12.71**	**12.87**	**12.91**	**12.95**	**12.99**	**13.04**	**13.08**	**13.12**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**	**13.14**
Other by-product																							
Compost from AD		**1,520**	**1,551**	**1,582**	**1,613**	**1,646**	**1,679**	**1,712**	**1,746**	**1,781**	**1,817**	**1,853**	**1,890**	**1,928**	**1,967**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**	**1,980**
Cashflow-In																							
Income from selling energy				52.86	53.91	54.99	56.09	57.21	57.93	58.11	58.29	58.48	58.67	58.86	59.06	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12	59.12
Income from selling Compost				1.58	1.61	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.82	1.85	1.89	1.93	1.97	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
Income from gate fee				14.05	14.33	14.62	14.91	15.21	15.52	15.83	16.14	16.46	16.79	17.13	17.47	17.82	18.18	18.54	18.91	19.29	19.68	20.07	20.47
Total Cash-In		**-**	**-**	**68.49**	**69.86**	**71.26**	**72.68**	**74.14**	**75.19**	**75.72**	**76.25**	**76.80**	**77.35**	**77.92**	**78.49**	**78.92**	**79.28**	**79.64**	**80.02**	**80.39**	**80.78**	**81.17**	**81.57**
Cashflow-Out																							
Investment	500.00	250.00	250.00																				
Personnel Cost				4.46	4.54	4.63	4.73	4.82	4.92	5.02	5.12	5.22	5.32	5.43	5.54	5.65	5.76	5.88	6.00	6.12	6.24	6.36	6.49
O&M Cost				12.50	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75	12.75
Landfill Cost				2.47	2.51	2.57	2.62	2.67	2.78	2.96	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.21	4.50	4.79	5.09	5.40	5.71	6.03	6.36
Total Cash-Out		**250.00**	**250.00**	**19.42**	**19.81**	**19.95**	**20.09**	**20.24**	**20.45**	**20.73**	**21.02**	**21.32**	**21.62**	**21.93**	**22.24**	**22.61**	**23.01**	**23.42**	**23.84**	**24.27**	**24.70**	**25.15**	**25.60**
Net Cashflow before tax		**(250.00)**	**(250.00)**	**49.07**	**50.05**	**51.31**	**52.59**	**53.90**	**54.75**	**54.98**	**55.23**	**55.48**	**55.73**	**55.99**	**56.25**	**56.31**	**56.27**	**56.22**	**56.18**	**56.13**	**56.08**	**56.03**	**55.98**

IRR	8.21%

ภาคผนวก ฉ

รายชื่อคณะกรรมการวิจัยและพัฒนาของวุฒิสภา

รายชื่อ

คณะกรรมการวิจัยและพัฒนาของวุฒิสภา

****

1.	ดร.บุญเลิศ	ไพรินทร์	ประธานกรรมการ
2.	รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี	รูปสุวรรณ	กรรมการที่ปรึกษา
3.	รองศาสตราจารย์ ดร.วรพล	โสคติยานุรักษ์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
4.	รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรภัทร์	เสรีรังสรรค์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
5.	รองศาสตราจารย์ ดร.พีรเดช	ทองอำไพ	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
6.	รองเลขาธิการวุฒิสภา (นายวุฒิชัย วัชรีรัตน์)		กรรมการ
7.	ผู้อำนวยการสำนักการคลังและงบประมาณ (นางรัตนา ศรีสิยวรรณ)		กรรมการ
8.	ผู้อำนวยการสำนักวิชาการ (นายไพโรจน์ โพธิไสย)		กรรมการและเลขานุการ
9.	ผู้อำนวยการกลุ่มงานวิจัยและข้อมูล (นายประธาน ทิพยกะลิน)		กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

****

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อและนามสกุล นายพิรียุตม์ วรรณพฤกษ์

วันเดือนปีเกิด 22 สิงหาคม 2497

ประวัติการศึกษา

เศรษศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ปี 2546

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี 2523

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน และสถานที่ทำงาน

ประธานกรรมการบริหารมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

คณะกรรมการโครงการทีมสิ่งแวดล้อมเมืองพัทยา(เมืองสุขภาพปลอดสารพิษ เพื่อคุณภาพชีวิตของประชาชน)

คณะกรรมการการดำเนินการตามโครงการเกษตรธรรมชาติ(เกษตรอินทรีย์) จังหวัดนครราชสีมา

คณะกรรมการโครงการรณรงค์ลดปริมาณขยะมูลฝอย ตามโครงการบ้านฉาง เมืองน่าอยู่ ประจำปี พ.ศ. 2545

คณะที่ปรึกษาและคณะทำงานเพื่อทำการศึกษาและวางแผนการจัดการมูลฝอย ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

คณะกรรมการจังหวัด กองทุนเพื่อสังคม (SIF) กรุงเทพมหานคร

ที่ปรึกษาเทศบาลนครระยอง

ที่ปรึกษาเทศบาลตำบลด่านขุนทด นครราชสีมา

ที่ปรึกษาผู้ว่าราชการจังหวัดนครราชสีมา

คณะทำงานโครงการจัดการมูลฝอยโรงเรียนนายร้อยตำรวจ ตามคำสั่งสำนักงานตำรวจแห่งชาติ

กรรมการคณะทำงานบริหารและดำเนินการโครงการจัดการมูลฝอย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (เขาชะโงก) ตามคำสั่งโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ที่ปรึกษา บริษัท เอเชีย พลายวู๊ด จำกัด สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าจากเศษไม้ยางพารา จังหวัดยะลา

ประสบการณ์การทำงาน

2541-2543 กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการคณะกรรมการโครงการแปรรูปมูลฝอย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มูลนิธิชัยพัฒนา

ผู้อำนวยการสำนักงานมูลนิธิ พลเอก ชาติชาย ชุณหะวัณ

กรรมการประสานงานโครงการแปรรูปมูลฝอย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตามคำสั่งกรุงเทพมหานคร

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ คณะกรรมการศึกษาและดำเนินงานโครงการแยกขยะเพื่อการแปรรูปและนำกลับมาใช้ใหม่ (รีไซเคิล) ในพื้นที่หน่วยทหาร ตามคำสั่งกองบัญชาการทหารสูงสุด

ผู้อำนวยการ สำนักงานโครงการแปรรูปมูลฝอย อันเนื่องมาจากพระราชดำริของมูลนิธิชัยพัฒนา

2538-2540 จัดตั้งบริษัท การจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงาน จำกัด และบริหารในตำแหน่ง "กรรมการผู้จัดการ" เผยแพร่แนวทางการจัดการมูลฝอยโดยการใช้เทคโนโลยีแบบบูรณาการ และสร้างรูปแบบการพัฒนาโครงการให้ชุมชนเข้ามีส่วนร่วม

พัฒนาโครงการโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากเศษไม้ยางพาร่วมกับ บริษัท เอเชียพลายวู๊ด จำกัด และได้ก่อตั้งบริษัท ยะลาผลิตไฟฟ้า จำกัด ขณะนี้ยังอยู่ในระหว่างการเจรจาเปลี่ยนแปลงผู้ถือหุ้นกับบริษัท ผลิตไฟฟ้า จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่มีการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเป็นผู้ถือหุ้นใหญ่

2536-3537 "รองกรรมการผู้จัดการ" ฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท ศรีอู่ทอง จำกัด และรับผิดชอบบริษัท Power Consultant จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทในเครือของศรีอู่ทอง ในตำแหน่ง "กรรมการผู้จัดการ"

2535-2536 รองกรรมการผู้จัดการรับผิดชอบงานด้านต่างประเทศ บริษัท ศรีอู่ทอง จำกัด

2531-2534 ตำแหน่ง "ผู้อำนวยการโครงการต่างประเทศ"

- โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า ขนาด 132KV 15 แห่งในประเทศศรีลังกาโดยร่วมกับบริษัท ITOCHU ประเทศญี่ปุ่น
- โครงการก่อสร้างสายไฟฟ้า ขนาด 132KV Habarana- Valaichchenai ประเทศศรีลังกา
- โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า ขนาด 115/22KV ในจังหวัดเวียงจันทน์ ประเทศ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

- โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า 110/22KV ในจังหวัดเวียงจันทน์ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

2528-2531 ตำแหน่ง *"ผู้จัดการโครงการ"* บริษัท *ศรีอู่ทอง* จำกัด

- งานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้า ขนาด 33KV ทางตอนใต้และตะวันตกของประเทศศรีลังกา
- งานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้า ขนาด 33KV ภาคกลางตอนเหนือและตะวันออกของประเทศศรีลังกา

2526-2528 ตำแหน่ง *"วิศวกรโครงการ"* บริษัท *ศรีอู่ทอง* จำกัด

- ออกแบบและควบคุมงานโครงการสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 115KV บ้านโป่ง-กำแพงแสน
- ควบคุมงานขึงสาย โครงการสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 230KV สายคู่ (Bundle Conductor) ช่วงมีนบุรี – บางกะปิ – รังสิต (เป็นระยะเวลาที่เกิดอุทกภัยในกรุงเทพและปริมณฑล)
- ควบคุมงานก่อสร้างโครงการสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 115KV เขื่อนเชี่ยวหลาน – พังงา
- ควบคุมงานติดตั้งเสาไฟฟ้าและขึงสายโครงการสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 230KV อุตรดิตถ์ – พิษณุโลก

2525-2526 ตำแหน่ง *"วิศวกรสนาม"* บริษัท *ศรีอู่ทอง* จำกัด

- งานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 230KV พัทลุง – นครศรีธรรมราช
- งานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ขนาด 115KV ยะลา – นราธิวาส
- งานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 230KV เขื่อนเขาแหลม – เขื่อนศรีนครินทร์ – สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง 2

บทความทางวิชาการ

- การผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอย (Waste to Energy), ปี 2542
- เทคโนโลยีพลังงานในศตวรรษหน้า, สิงหาคม 2542
- การมีส่วนร่วมในการจัดการมูลฝอย , มกราคม 2544

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อและนามสกุล นายสมเกียรติ คุณเผือก

วันเดือนปีเกิด 6 กันยายน 2503

ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2528

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2526

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน และสถานที่ทำงาน

รองกรรมการบริหารมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

ประสบการณ์การทำงาน

ปัจจุบัน ผู้จัดการโครงการ

โครงการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดระบบจัดการมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลนครนครราชสีมา

โครงการคัดแยกขยะและหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เทศบาลนครนครราชสีมา ปี 2547

โครงการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดระบบจัดการมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลนครสมุทรปราการ

โครงการคัดแยกขยะและหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เทศบาลนครนครราชสีมา

โครงการศึกษาเพื่อออกแบบสาธิตโรงไฟฟ้าจากชีวมวล

กิจกรรมรณรงค์ลดและแยกขยะในโรงเรียนและชุมชนและตั้งศูนย์รีไซเคิลในพื้นที่ดำเนินการ 19 เทศบาล โครงการหลวงอินทนนท์และโครงการหลวงอ่างขาง

การเสริมสร้างจิตสำนึกเรื่องการมีส่วนร่วมของประชาชนในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม บริเวณแหล่งท่องเที่ยวในเขตควบคุมมลพิษ

โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงาน จังหวัดระยอง

2542 ที่ปรึกษา มูลนิธิ พลเอกชาติชาย ชุณหะวัณ

โครงการศูนย์วัสดุรีไซเคิล เขตบางกะปิ

โครงการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมชุมชน กรณีศึกษาของธนาคารโลก ของเทศบาลนครนครราชสีมา

2541-2542 รองผู้อำนวยการสำนักงานโครงการแปรรูปมูลฝอย อันเนื่องมาจากพระราชดำริของมูลนิธิชัยพัฒนา

2538 – 2541 ตำแหน่ง "ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการฝ่ายสถานีย่อย บริษัท ศรีอู่ทอง จำกัด"

โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าขนาด 115 KV ของการไฟฟ้านครหลวง จำนวน 3 แห่ง ที่เกาะกลาง, บางโพงพาง และสุระศักดิ์ อยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ เป็นแบบ GIS ทั้งหมด

โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าขนาด 230 KV ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 8 แห่ง แบ่งออกเป็นได้สองส่วนตามลักษณะการจัดวางอุปกรณ์สวิชเกียร์ ;

แบบ Conventional จำนวน 5 แห่ง

1. สถานีไฟฟ้าย่อยรังสิต จังหวัดปทุมธานี
2. สถานีไฟฟ้าย่อยบางปะอิน 1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
3. สถานีไฟฟ้าย่อยบางปะอิน 2 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
4. สถานีไฟฟ้าย่อย ท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์
5. สถานีไฟฟ้าย่อยท่าลาน 3 จังหวัดสระบุรี

แบบ GIS จำนวน 3 แห่ง

1. สถานีไฟฟ้าย่อยรัชดาภิเษก จังหวัดกรุงเทพฯ
2. สถานีไฟฟ้าย่อยสามพราน 1 จังหวัดนครปฐม
3. สถานีไฟฟ้าย่อยธนบุรีใต้ จังหวัดกรุงเทพฯ

โครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อย ขนาด 115 KV/22KV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จำนวน 4 แห่ง มีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ สวิชเกียร์ แบบ Conventional ทั้งหมด

1. สถานีไฟฟ้าย่อยบ่อวิน 2 จังหวัดชลบุรี
2. สถานีไฟฟ้าย่อยบางสมัคร จังหวัดสมุทรปราการ

3. สถานีไฟฟ้าย่อยบางเลน จังหวัดนครปฐม

4. สถานีไฟฟ้าย่อยบางกระดี จังหวัดปทุมธานี

โครงการติดตั้งสถานีไฟฟ้าขนาด 115 KV/22KV ของ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ที่เขาวง จังหวัดสระบุรี

2533-2537 ตำแหน่ง "ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมไฟฟ้า บริษัท ศรีอู่ทอง จำกัด"

2529-2532 ตำแหน่ง "วิศวกรไฟฟ้าอาวุโส บริษัท ศรีอู่ทอง จำกัด"

2528 ตำแหน่ง "วิศวกรโครงการ บริษัท นเรศเอ็นจิเนียร์ริ่ง จำกัด"

2526-2527 ตำแหน่ง "วิศวกรโรงงาน บริษัท ยูไนเต็ทฟาร์วมิล จำกัด"

ขึ้นทะเบียน ใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบอาชีพวิศวกรรมควบคุม

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงไฟฟ้ากำลัง วฟก. 618 ปี 2541

กองงานควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรม กระทรวงมหาดไทย

ใบอนุญาตเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับบริหาร

จป. บริหาร ปี 2540 กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม

กิจกรรมทางสังคม สมาชิก จส. 100

วิทยากรบรรยายด้านการจัดการขยะชุมชน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อและนามสกุล นางสาวอาริศรา ทะริยะ

วันเดือนปีเกิด 28 ตุลาคม 2522

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม (การจัดการของเสียอันตราย) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2547

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2544

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน และสถานที่ทำงาน

ผู้ช่วยอำนวยการสำนักงาน ฝ่ายวิชาการ มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2547- ปัจจุบัน

เจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการ มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

-โครงการเสริมสร้างประสิทธิภาพองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการเก็บขนรวบรวม ขนส่ง และกำจัดของเสียอันตรายจากชุมชน

-โครงการนำร่องการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำเสียและขยะมูลฝอยชุมชนขององค์กรปกครองท้องถิ่นและภาคเอกชน

- โครงการศึกษาวิจัยการจัดการมูลฝอย เทศบาลนครหาดใหญ่

- โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการจัดการขยะมูลฝอย จังหวัดภูเก็ต

พ.ศ. 2544

เจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการ ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ และธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น(JICA)

เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ บริษัท การ์กัวร์แลป จำกัด