

บทที่ 2

ศักยภาพในการผลิตพลังงานของขยะในพื้นที่เขตใต้ ของจังหวัดเชียงใหม่

ในบทที่ 2 นี้ จะเป็นการวิเคราะห์ศักยภาพของขยะในพื้นที่เขตใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการวิเคราะห์ ข้อมูลทั้งในด้านของปริมาณขยะ และ ส่วนประกอบของขยะ จากนั้นข้อมูลเชิงเทคนิคในการผลิตพลังงานจากขยะของเทคโนโลยีทั้ง 3 ชนิดจะถูกรวบรวมมาจากงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ เพื่อทำการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่จะสามารถผลิตได้เมื่อเข้าสู่ระบบเทคโนโลยีที่จะทำการพิจารณาประกอบไปด้วย 3 เทคโนโลยีได้แก่ เทคโนโลยีเตาเผา, เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ

การกำจัดขยะ โดยใช้เตาเผาเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำจัดขยะที่มีประสิทธิภาพสูง ในการลดปริมาตรส่งผลให้ขี้เถ้าซึ่งเหลือจากการเผาใหม่มีปริมาตรประมาณร้อยละ 10 และน้ำหนักประมาณร้อยละ 25 ของขยะที่ส่งเข้าเตาเผา นอกจากนั้นแล้วการใช้เตาเผา ยังให้ผลพลอยได้คือพลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การผลิตไอน้ำ หรือทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

เทคโนโลยี การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการกำจัดขยะวิธีหนึ่ง โดยเป็นกระบวนการหมักขยะอินทรีย์ในถังปิดสนิทที่มีแบคทีเรียซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายขยะอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และมีผลพลอยได้เป็นสารปรับสภาพดินหรือปุ๋ยอินทรีย์

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน อาศัยการทำปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ในขยะกับจุลินทรีย์ ซึ่งมีลักษณะการเกิดก๊าซชีวภาพคล้ายกับเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่จะแตกต่างกันที่ในหลุมฝังกลบจะมีสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดเกิดก๊าซชีวภาพน้อยกว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงทำให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพช้ากว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน อีกทั้งก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะจะมีสัดส่วนของมีเทนในปริมาณต่ำกว่าอีกด้วย

2.1 ขยะมูลฝอยและแนวทางในการจัดการของประเทศไทย

2.1.1 การจัดการขยะของประเทศไทย

ปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นของประเทศไทยส่งผลให้เกิดปัญหาทั้งในด้านของการจัดเก็บ รวบรวมขยะที่ไม่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการอันจะนำไปสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยหน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดการขยะในปัจจุบันคือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งมีหน้าที่ในการรับผิดชอบการจัดเก็บ รวบรวม และกำจัดขยะมูลฝอยชุมชน โดยจัดให้มีระบบการจัดการขยะมูลฝอยรวมเพื่อรองรับปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

แนวทางหนึ่งที่จะระบุดังปัญหาที่ชัดเจน สำหรับการเพิ่มปริมาณของขยะ คือ การพิจารณาตลอดวงจรชีวิตของขยะ มูลฝอย ซึ่งเป็นการมองภาพรวมของการเกิดขยะว่าประกอบด้วยกระบวนการอะไรบ้าง และในกระบวนการต่าง ๆ เหล่านั้นส่งผลต่อปริมาณของขยะมูลฝอยเช่นไร ดังรูปที่ 2.1 โดยปัญหาที่พบในแต่ละขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรชีวิตของขยะมูลฝอย

(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550)

ตารางที่ 2.1 ปัญหาที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะในขั้นตอนต่าง ๆ ของวงจรชีวิตขยะมูลฝอย

ขั้นตอน	ปัญหาที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะ
1. ขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ	การนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศปริมาณมากส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากการนิยมใช้วัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศมากกว่าที่จะใช้วัตถุดิบที่ใช้แล้วในประเทศกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากว่าผู้ผลิตต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตทำให้เกิดความยุ่งยากและต้นทุนสูงขึ้น
2. ขั้นตอนการผลิตสินค้า	กระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดของเสียและมูลฝอยจำนวนมาก อีกทั้งมีการนำของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกลับมานำใช้น้อย รวมถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เอื้อต่อการนำกลับมาใช้ประโยชน์
3. ขั้นตอนการจำหน่ายสินค้า	ขาดการรองรับผลิตภัณฑ์และสินค้าที่มีส่วนประกอบจากวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่หรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับความนิยม อีกทั้งมีการใช้บรรจุภัณฑ์มากเกินความจำเป็นก่อให้เกิดขยะมูลฝอยจำนวนมาก
4. ขั้นตอนการบริโภคสินค้า	ผู้บริโภคบางส่วนไม่นิยมใช้สินค้าที่สามารถใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น ความไม่มั่นใจในคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์นำกลับมาใช้ใหม่
5. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและขนส่งขยะมูลฝอย	การเก็บรวบรวมและขนส่งขยะมูลฝอยไม่ทั่วถึง เป็นเหตุให้มีขยะมูลฝอยตกค้างในชุมชน โดยเฉพาะชุมชนขนาดเล็ก การมีภาชนะรองรับขยะมูลฝอยไม่เพียงพอ ซึ่งแล้วแต่ก่อให้เกิดปัญหาการทิ้งขยะในพื้นที่ว่างเปล่า และการทิ้งขยะนอกภาชนะรองรับขยะมูลฝอย
6. ขั้นตอนการคัดแยกขยะมูลฝอย	ขาดความร่วมมือในการแยกประเภทขยะมูลฝอยจากประชาชน อีกทั้งภาชนะบรรจุเพื่อการคัดแยกขยะก็มีจำนวนไม่เพียงพอ ส่งผลให้ไม่สามารถนำวัสดุต่าง ๆ กลับมาใช้ได้ใหม่
7. ขั้นตอนการบำบัดและกำจัดขยะมูลฝอย	ขาดสถานที่กำจัดขยะอย่างถูกหลักสุขาภิบาล โดยส่วนใหญ่จะเป็นการฝังกลบ โดยไม่มีการป้องกันมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังจัดหาพื้นที่ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการได้ยาก และเมื่อสามารถจัดหาได้แล้ว มักได้รับการต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่

จากปัญหาในขั้นตอนต่าง ๆ ในวงจรชีวิตของขยะ มูลฝอย ที่ได้กล่าวมานั้น ได้นำมาสู่แนวทางในการจัดการขยะในแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2550 – 2554 แสดงดังรูปที่ 2.2 จัดทำโดย สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปปฏิบัติ โดยมีมาตรการและแนวทางปฏิบัติเกี่ยวข้องกับขยะมูลฝอยที่ควรทราบดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รวบรวมของแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2550 – 2554

ตารางที่ 2.2 มาตรการและแนวทางปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับขยะมูลฝอย ในแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2550 – 2554

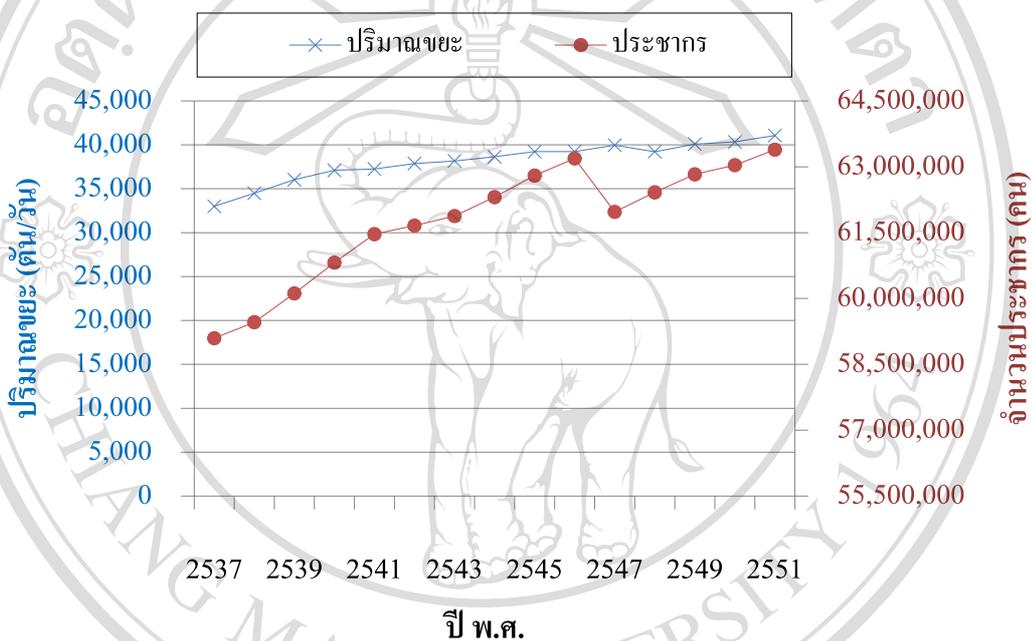
กลยุทธ์	แนวทางการปฏิบัติ
<p>กลยุทธ์ที่ 1 ส่งเสริมการมีส่วนร่วม และสร้างภูมิปัญญาร่วมกันของภาคีต่างๆ เพื่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม</p>	<p>1.1 ให้ผู้ผลิต/ผู้จำหน่ายสินค้า มีส่วนร่วมใน การลดปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ และจัดให้มีระบบรับคืนซากบรรจุภัณฑ์ รวมทั้งสนับสนุนให้มีการจำหน่ายสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ที่รีไซเคิล และวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม</p> <p>1.2 สร้างแรงจูงใจ ให้ประชาชนลดและคัดแยกขยะมูลฝอยในครัวเรือน โดยให้สอดคล้องกับ การพัฒนาระบบรวบรวมเก็บขน และกำจัดขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วของ อบท</p> <p>1.3 สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม</p> <p>1.4 ส่งเสริม/สนับสนุน ให้มีการจัดระบบผู้คัดแยกขยะมูลฝอยรายย่อย (ขนาดเล็ก) และรับซื้อของเก่า เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพใน การคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำหรือแปรรูปใช้ใหม่</p> <p>1.5 ส่งเสริม/สนับสนุน ให้ผู้ประกอบการมีส่วนร่วม ในการเรียกคืนซากผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียอันตรายชุมชน เพื่อกลับเข้าสู่กระบวนการกำจัดทำลายหรือนำกลับมาใช้ซ้ำหรือแปรรูปใช้ใหม่</p> <p>1.6 ส่งเสริม/สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย เช่น เทคโนโลยีการคัดแยก การเก็บ และการกำจัดขยะมูลฝอย เป็นต้น</p>
<p>กลยุทธ์ที่ 2 การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและ</p>	<p>2.1 ใช้มาตรการทางการเงิน เช่น ให้เงินอุดหนุน/ปลอดดอกเบี้ยจากกองทุนอนุรักษ์พลังงาน และ/หรือกองทุนอื่นเพื่อสนับสนุนผู้ประกอบการที่มีการป้องกันมลพิษ อาทิ รถโดยสารสาธารณะที่มีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ใหม่ที่มีมลพิษต่ำ การผลิตพลังงานชีวภาพจากฟาร์มสุกร เป็นต้น</p>

<p>สิ่งแวดลอมของทุกภาคี</p>	
<p>กลยุทธ์ที่ 3 การขับเคลื่อนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) เพื่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในเชิงรุก</p>	<p>3.1 ส่งเสริมและสนับสนุน อปท. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการน้ำเสีย ขยะมูลฝอย ของเสียอันตรายชุมชนและมูลฝอยติดเชื้อ โดยอาจอยู่ในรูปของการจัดตั้งบริษัทหรือมอบหมายให้บุคคลอื่นหรือเอกชนดำเนินการ</p> <p>3.2 ให้ อปท. รวมกลุ่มพื้นที่ (Cluster) เพื่อสร้างระบบการจัดการขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาล แบบผสมผสานและสนับสนุนให้มีการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบรีไซเคิลหรือแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า</p> <p>3.3 กำหนดพิธีคำธรรมเนียม และแนะนำ การเลือกใช้คำธรรมเนียมที่เหมาะสมสำหรับ อปท. รวมทั้งสนับสนุนให้ อปท. มีการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการบำบัดน้ำเสียและค่าธรรมเนียมการเก็บขนและกำจัดขยะมูลฝอย เพื่อให้มีรายได้มาใช้ในการดำเนินงาน ดูแล และบำรุงรักษาระบบอย่างมีประสิทธิภาพ</p>
<p>กลยุทธ์ที่ 4 ส่งเสริมการเข้าถึงและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างเป็นธรรม เพื่อลดความยากจน</p>	<p>-</p>
<p>กลยุทธ์ที่ 5 ส่งเสริมการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสมดุลและยั่งยืน</p>	<p>-</p>
<p>กลยุทธ์ที่ 6 กำกับ ดูแลและฟื้นฟู</p>	<p>6.1 ส่งเสริม/สนับสนุนการนำพลังงานที่ได้จากการกำจัดขยะมูลฝอยไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียหรือระบบ</p>

<p>คุณภาพสิ่งแวดล้อมให้มีความ สมดุลและยั่งยืน</p>	<p>สาธารณูปโภคด้านสิ่งแวดล้อม 6.2 สนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือกอื่นๆทดแทนการใช้ถ่านหินในรถยนต์และเครื่องใช้ในบ้านใน ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรมและการผลิตไฟฟ้า 6.3 ให้มีกลไกชัดเจน หรือกลไกที่จะสร้างส่วนแบ่งรายได้ที่เป็นธรรมหรือผลประโยชน์ตอบแทนให้กับ ประชาชน/ชุมชนที่เป็นกลุ่มผู้มีส่วนเสียอันเกิดจากผลกระทบจากการบำบัดหรือกำจัดมลพิษ เช่น เป็นที่ตั้งของ สถานที่กำจัดขยะ มูลฝอย เตาเผาขยะ บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น</p>
---	---

2.1.2 ปริมาณและส่วนประกอบของขยะของประเทศไทย

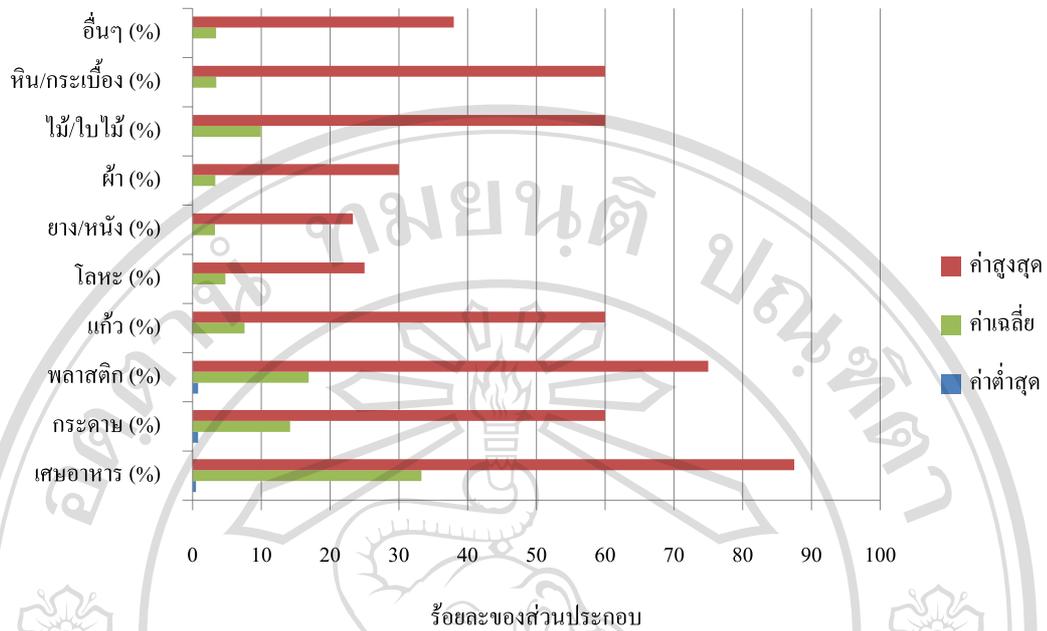
จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2537 – พ.ศ.2551 (กรมควบคุมมลพิษ, 2537-2551) ปริมาณขยะของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร (กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย) จาก 33,008 ตัน/วันในปี พ.ศ. 2537 จนเพิ่มขึ้นเป็น 41,064 ตัน/วัน ในปี พ.ศ.2551 ดังแสดงในรูปที่ 2. 3 โดยสาเหตุที่จำนวนประชากรลดลงมาในปีพ.ศ. 2547 เนื่องมาจากการตรวจสอบและแก้ไขรายการชื่อถิ่นและซ้ำซ้อน ในทะเบียนบ้านกลางทั่วราชอาณาจักร



รูปที่ 2.3 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะทั่วประเทศ

ข้อมูลด้านส่วนประกอบของขยะมูลฝอยนั้น จะถูกนำมาใช้เพื่อเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตพลังงานให้เหมาะสมกับลักษณะของขยะแต่ละประเภท โดยจากการรวบรวมข้อมูลพบว่าส่วนประกอบของขยะจะมีความแตกต่างกันมากในแต่ละพื้นที่ที่ทำการสำรวจ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้การรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาอื่นที่ผ่านมา โดยนำข้อมูลที่รวบรวมมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของช่วงข้อมูลของส่วนประกอบขยะที่เป็นไปได้

ข้อมูลส่วนประกอบของขยะ โดยเฉลี่ยทั่วประเทศ อ้างอิงจากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากการกระจายแบบสอบถามให้กับเทศบาลทั่วประเทศโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมและได้รับกลับมาจำนวน 664 แห่ง (www.pcd.go.th/count/wastedl.cfm?FileName=waste_volumn.xls) รายละเอียดดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบส่วนประกอบแต่ละชนิดในขยะมูลฝอย

2.1.3 การผลิตพลังงานจากขยะในประเทศไทย

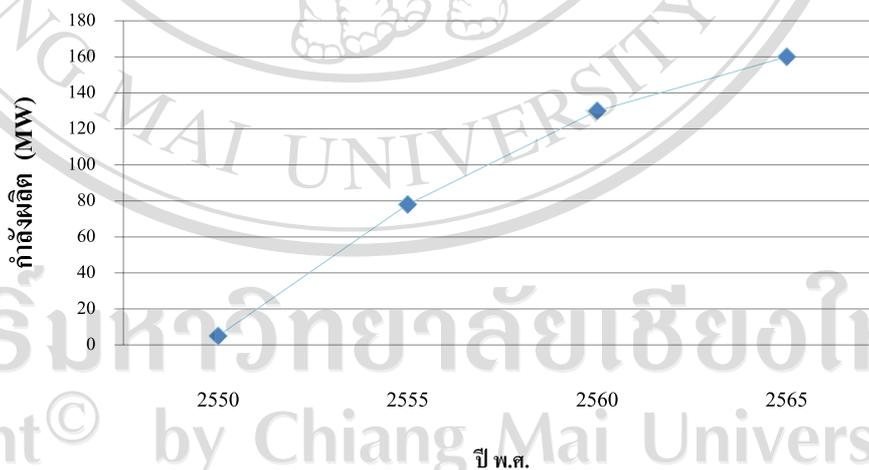
แผนการผลิตพลังงานจากขยะในประเทศไทยได้ถูกบรรจุไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ซึ่งมีกรอบการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศในระหว่างปี 2551- 2565 แบ่ง ออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะสั้น พ.ศ. 2551 - 2554 ระยะกลาง พ.ศ. 2555 - 2559 และระยะยาว พ.ศ. 2560 - 2565 จะทดแทนการใช้น้ำมันได้รวม 19,799 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ในปี 2565 หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของการใช้พลังงาน ทั้งหมด ของประเทศไทย (กระทรวงพลังงาน , 2552)รายละเอียดของแผนพลังงานทดแทน 15 ปีแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เป้าหมายในระยะต่าง ๆ ของแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี

ระยะเวลา	เป้าหมาย
ระยะสั้น พ.ศ. 2551 - 2554	มุ่งเน้นส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่ได้รับการยอมรับแล้ว (proven technologies) และมีศักยภาพแหล่งพลังงานทดแทนสูง ได้แก่เชื้อเพลิงชีวภาพ การผลิตไฟฟ้า และความ ร้อนจากชีวมวล และก๊าซชีวภาพ และ NGV
ระยะกลาง พ.ศ. 2555 - 2559	ส่งเสริมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีพลังงานทดแทน และ

	สนับสนุนพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ๆ เช่น การผลิตเอทานอลและไบโอดีเซลจากสาหร่าย การผลิตน้ำมันจากชีวมวล และเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีใหม่ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และพัฒนาต้นแบบ Green City และนำไปสู่การสร้างความเข้มแข็งให้กับการผลิตพลังงานทดแทนระดับชุมชน
ระยะยาว พ.ศ. 2560 - 2565	ส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ๆ ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เช่น พลังงานไฮโดรเจน เป็นต้น รวมถึงการขยายผล Green City และพลังงานชุมชน และสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางส่งออกเชื้อเพลิงชีวภาพและการส่งออกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในภูมิภาคอาเซียน

โดยพลังงานจากขยะซึ่งมีปริมาณรวมกันทั้งประเทศมากกว่า 4 หมื่นตัน/วัน เป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงานทดแทนที่ถูกบรรจุอยู่ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี โดยการผลิตไฟฟ้าจากขยะตั้งแต่ปี 2550 – 2565 มีเป้าหมายดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี

ในปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมดในประเทศไทยนั้น มีขยะบางส่วนที่ถูกนำไปผลิตพลังงาน โดยกระจายการผลิตตามเขตและจังหวัดต่าง ๆ จากข้อมูล ณ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 มีการผลิตไฟฟ้าจากขยะและขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้ว

รวมทั้งสิ้น 5.1 MW (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน , 2552) รายละเอียดของบริษัทที่ทำการจำหน่ายไฟฟ้าจากขยะแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 โรงไฟฟ้าที่ทำการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าแล้ว (มิถุนายน 2552)

บริษัท	สถานที่ตั้ง โรงไฟฟ้า	กำลังการผลิต เสนอขาย (kW)	ประเภท โรงไฟฟ้า	วันเริ่มต้นจ่าย ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ
บริษัทเจริญสมพงษ์ จำกัด	โรงไฟฟ้าราชาเทวะ อ.บางพลี จ. สมุทรปราการ	1,000	Gas engine	สิงหาคม 2550
โรงไฟฟ้าโครงการ ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ฯ	อ. เมือง จ. ระยอง	600	Gas engine	ธันวาคม 2547
บจก. พีเจที เทคโนโลยี	อ.เมือง จ.ชลบุรี	1,500	Steam turbine	กุมภาพันธ์ 2551
บจก.แอกทีฟซิน เนอริย์	อ.กำแพงแสน จ. นครปฐม	2,000	Gas engine	เมษายน 2552

แยกเป็นการไฟฟ้านครหลวง 1 MW จำหน่ายโดยโรงไฟฟ้าราชาเทวะ จ.สมุทรปราการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 4.1 MW จำหน่ายโดยโรงไฟฟ้าโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และพลังงาน จ.ระยอง และอีก 2 แห่งที่จ.ชลบุรี และ จ.นครปฐม ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากขยะของประเทศ ไทยจะประกอบไปด้วย เทคโนโลยีเตาเผา เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะ

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตพลังงานจากขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ กระบวนการที่ใช้ความร้อนและ กระบวนการทางชีวเคมี

กระบวนการที่ใช้ความร้อน เป็นการแปรคุณสมบัติทางกายภาพของขยะชุมชนให้เป็นพลังงานด้วยความร้อนซึ่งได้แก่ การเผา การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เป็นต้น โดยกระบวนการทางความร้อนด้วยวิธีเตาเผา เป็นที่รู้จักและนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากไม่ซับซ้อนยุ่งยากและมีประสิทธิภาพในการแปรรูปเป็นกระแสไฟฟ้าประมาณ 10-25% ขณะที่การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง มีประสิทธิภาพ

สูงขึ้นประมาณ 25-40% แต่ยังไม่มีการใช้งานที่แพร่หลายและยังอยู่ในช่วงการพัฒนาเทคโนโลยี ในการนำขยะมูลฝอยสามารถ มาใช้ในรูปของเชื้อเพลิงแข็งเพื่อผลิตพลังงาน จะพิจารณาจาก ค่าความร้อนของขยะ โดยค่าความร้อนของขยะ เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าความร้อนโดยเฉลี่ยของขยะเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแข็งชนิดอื่นๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อน(MJ/kg)
ขยะ	4.86
ไม้ยูคาลิปตัส	19.03
ไยมะพร้าว	19.66
แกลบ	16.59
กะลามะพร้าว	18.20
เหง้ำมันสำปะหลังแห้ง	17.05
กากมันสำปะหลังตากแห้ง	16.16
ซังข้าวโพดอบแห้ง	19.34
ชานอ้อย	19.09
ฟืน	15.99
ถ่าน	27.38

ซึ่งค่าความร้อนของขยะรวมนั้นมาจาก ส่วนประกอบของขยะที่หลากหลาย โดยส่วนประกอบที่เหมาะสมในกระบวนการที่ใช้ความร้อน ได้แก่ พลาสติก กระดาษ ยาง รวมถึงเศษใบไม้ ซึ่งมีค่าความร้อนสูงดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของส่วนประกอบต่างๆ ของขยะ (Shefali, 2002)

ส่วนประกอบของขยะ	ค่าความร้อนโดยเฉลี่ย (MJ/kg)
เศษอาหาร	5.51
กระดาษ	15.80
พลาสติก	32.56
ยาง	25.41
เศษผ้า	17.25

ไม้ ใบไม้	18.61
แก้ว	0.14
โลหะ	0.70
ฝุ่น เถ้า และ อื่น ๆ	6.98

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเตาเผา

การกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาเป็นที่นิยมในประเทศที่มีลักษณะเป็นเกาะ เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพื้นที่สำหรับการฝังกลบ W.T. Tsai et al. (2004) รวบรวมข้อมูลและนำเสนอถึงสถานการณ์ในการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีเตาเผา (Incineration) ในประเทศไต้หวัน โดยในปี 1991 ไต้หวันมีการใช้เทคโนโลยีเตาเผาในการกำจัดขยะเพียง 0.4% เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง ถึงปี 2002 สัดส่วนนี้ได้เพิ่มขึ้นเป็น 64.2% ซึ่งแสดงถึงการให้ความสนใจและสนับสนุนการกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีนี้ของรัฐบาล เมื่อพิจารณาในช่วงปี 2005 ไต้หวันมีโรงไฟฟ้าที่ใช้ขยะเป็นเชื้อเพลิงโดยรัฐบาลลงทุนเองมากถึง 21 แห่ง ในส่วนของภาคเอกชนลงทุนมีปริมาณ 15 แห่ง

ปัจจุบัน โรงไฟฟ้าเหล่านี้กำลังประสบปัญหาขาดแคลนขยะที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า เนื่องมาจากการรณรงค์เพื่อลดขยะจากโครงการต่าง ๆ ส่งผลให้อัตราการรีไซเคิลของขยะมีมากขึ้น เพื่อที่จะรักษาอัตราการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ รัฐบาลจึงได้ออกกฎหมายให้โรงไฟฟ้าพลังงานขยะบางแห่งสามารถที่จะนำขยะจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้เพื่อทดแทนปริมาณขยะที่ลดลงได้

จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้ว่า สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในการจัดตั้งโครงการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชน นอกจากที่จะต้องทราบข้อมูลที่ถูกต้องทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว การประเมินความเสี่ยงที่อาจจะเปลี่ยนแปลงในอนาคตของปริมาณขยะก็เป็นสิ่งสำคัญด้วยเช่นกัน

ในบางประเทศจะมีการผสมขยะอุตสาหกรรมหรือขยะจากโรงพยาบาลเข้ากับขยะชุมชน เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มค่าความร้อนของขยะ M.Giugliano et al. (2006) ได้ทำประเมินความเป็นไปได้ในการผสมขยะชุมชนและขยะพิเศษจากโรงพยาบาลในประเทศอิตาลีซึ่งจะทำให้ได้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 10.45 MJ/kg จากนั้นนำไปเข้าเตาเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อน โดยกำหนดให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพโดยรวม 20.6% จากการประเมินพบว่าโครงการนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ย 599 kWh/ตันของขยะรวม และผลิตความร้อนได้ 204 kWh/ตันของขยะรวม

จะเห็นได้ว่าการประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผา นอกจากปริมาณและส่วนประกอบของขยะแล้ว ค่าความร้อนของขยะมูลฝอยก็เป็นตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่จะสามารถผลิตได้จากเทคโนโลยีเตาเผา ในที่นี้จะอธิบายถึงความหมายของค่าความร้อนและประเมินค่าความร้อนด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

ค่าความร้อนเป็นปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมา เมื่อขยะถูกเผาต่อหน่วยน้ำหนัก แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Higher Heating Value และ Lower Heating Value

Higher Heating Value หมายถึงการนำขยะมูลฝอยหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมดก่อน จากนั้นจึงนำมาหาค่าความร้อน

Lower Heating Value หมายถึงการนำขยะมูลฝอยหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน โดยไม่มีการลดความชื้นออก ส่งผลให้ความร้อนที่ขยะปล่อยออกมาส่วนหนึ่งต้องใช้ในการระเหยความชื้นออกไป

ซึ่งข้อมูลค่าความร้อนของขยะที่จะกล่าวต่อไปในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเป็นค่าความร้อนต่ำทั้งหมด โดยค่า Higher Heating Value และ Lower Heating Value มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่

2.1

$$HHV = LHV + 23.95(9H + M) \text{ kJ/kg} \quad (2.1)$$

เมื่อ HHV คือ ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value)

H คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และ

M คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

ในการหาค่าความร้อนของขยะมีวิธีประเมินที่แตกต่างกันไป โดยจะยกตัวอย่างไว้ 4

รูปแบบคือ Bomb calories Meter, Physical composition, Proximate analysis, Ultimate analysis แต่จะรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

1) Bomb calories Meter

Bomb calories Meter เป็นเครื่องมือนิยมใช้ในการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเครื่องมือนี้ โดยทั่วไปจะเป็นไปดัง รูปที่ 2.6 ในการใช้งาน Bomb calories Meter ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เชื้อเพลิงแข็งในการวิเคราะห์เพียง 1 กรัมเท่านั้น ซึ่งจะเหมาะสม

สำหรับเชื้อเพลิงแข็งที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าที่จะนำมาใช้กับขยะมูลฝอยที่ยังไม่ได้ทำการคลุกเคล้ากันให้ทั่วถึงก่อน



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความร้อนของขยะด้วย Bomb calories Meter

2) Physical composition

เป็นการคำนวณค่าความร้อนของขยะมูลฝอย โดย จะใช้สัดส่วนของ องค์ประกอบต่าง ๆ เช่น อาหาร กระดาษ พลาสติก เป็นต้นมาหาค่าความร้อนโดยใช้ความสัมพันธ์กับค่าความร้อนดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและส่วนประกอบของขยะในการหาค่าความร้อน

แบบ Physical composition

ที่มา	สมการ	หน่วย
Conventional	$HHV = 88.2Pl + 40.5(Ga + Pa) - 6W$	kcal/kg
Tokyo	$HHV = [(100W)/100] \{38.8(Pa + Ga + T + Oc) + 50.9(Te + Ru) + 73.7Pl\} - 6W$	kcal/kg
Ali Khan	$HHV = [23(Ga + 3.6 \times Pa)] + [160(Pl + Ru)]$	Btu/lb

- เมื่อ Pa คือ สัตว์ส่วนของกระดาษ
 Ga คือ สัตว์ส่วนเศษอาหาร
 Te คือ สัตว์ส่วนของเศษผ้า
 Ru คือ สัตว์ส่วนของยางและหนัง
 Pl คือ สัตว์ส่วนของพลาสติก
 Oc คือ ส่วนประกอบอื่นๆ ที่เผาไหม้ได้
 T คือ สัตว์ส่วนเศษไม้และหญ้า

3) Proximate analysis

เป็นการวิเคราะห์ โดยแบ่งกลุ่มองค์ประกอบในขยะมูลฝอยออกเป็น ความชื้น เถ้า สาร
 ระเหย และ คาร์บอนคงตัว และนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความร้อน ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและส่วนประกอบของขยะในการหาค่าความร้อน

แบบ Proximate analysis

ที่มา	สมการ	หน่วย
Goutal	$HHV = (147.6 \times FC) + (K \times VM)$	Btu/lb
Bento	$HHV = (44.75 \times VM) - (5.85 \times W) + 21.2$	kcal/kg
Traditional	$HHV = (45 \times VM) - (6 \times W)$	kcal/kg

เมื่อ W คือ สัตว์ส่วน โดยน้ำหนักของน้ำในขยะ

A คือ สัตว์ส่วน โดยน้ำหนักของเถ้าในขยะ

VM คือ สารระเหย

FC คือ คาร์บอนคงตัว

4) Ultimate analysis

เป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง โดยจะแยกองค์ประกอบของขยะออกเป็น
 ปริมาณร้อยละของธาตุต่างๆ จากนั้นจึงนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความร้อน ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในขณะในการหาค่าความร้อน
แบบ Ultimate analysis

ที่มา	สมการ	หน่วย
Modified Dulong	$HHV = 81C + 342.5(H - O/8) + 22.5S - 6(9H - W)$	kcal/kg
Steuer	$HHV = 81(C - 3 \times O/8) + 57 \times 3 \times O/8 + 345(H - O/10) + 25S - 6(9H + W)$	kcal/kg
Scheurer-Kestner	$HHV = 81(C - 3 \times O/4) + 342.5H + 22.5S + 57 \times 3 \times O/4 - 6(9H + W)$	kcal/kg
Chang	$HHV = 8561.11 + 179.72H - 63.89S - 111.17O - 91.11Cl - 66.94N$	kcal/kg
Boie	$HHV = 83.22C + 274.3H - 25.8O + 15N + 9.4Cl + 65P$	kcal/kg
Mott and Spooner	$HHV = 0.336C + 1.418H - 0.0145O + 0.0941S$	MJ/kg
Inst. for Gas Tech., USA	$HHV = 0.3417C + 1.3221H + 0.1232S - 0.1198(O + N) - 0.0153A$	MJ/kg

โดยในส่วนประกอบต่าง ๆ ของขยะนั้นจะมีสัดส่วนของธาตุต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันไปแสดงได้ดังตาราง ที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สัดส่วนของธาตุต่าง ๆ ในขยะมูลฝอย

ส่วนประกอบขยะ มูลฝอย	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง					
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfer	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
พลาสติก	60.0	7.2	22.8	0.0	0.0	10.0
แก้ว	0.5	0.1	0.4	0.1	0.0	98.9
โลหะ	4.5	0.6	4.3	0.1	0.0	90.5
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
เศษผ้า	55.0	6.6	31.2	4.6	0.2	2.5
เศษไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
ฝุ่น, ทราย, อื่น ๆ	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

นอกจากกระบวนการทางความร้อนแล้วกระบวนการทางชีวเคมี ก็เป็นรูปแบบการผลิตพลังงานชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ โดยเป็นการแปรรูปอินทรีย์สารซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของขยะชุมชนให้อยู่ในรูปของ ก๊าซชีวภาพ หรือก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิงสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนประกอบของขยะที่เหมาะสมในกระบวนการทางชีวเคมีได้แก่ เศษอาหาร เศษใบไม้ เป็นต้น โดยแต่ละส่วนประกอบจะมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยประมาณดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ในส่วนประกอบของขยะ

ส่วนประกอบของขยะ	ความชื้น (%wt)	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /kg)
กระดาษหนังสือพิมพ์	10	0.061
กระดาษสำนักงาน	10	0.178
เศษอาหารจากครัวเรือน	70	0.113
เศษหญ้า	60	0.034
ใบไม้	60	0.023

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการทางชีวเคมีรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตพลังงานจากขยะ โดยเทคโนโลยีนี้ในอดีตถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย แต่ในปัจจุบันถูกประยุกต์เพื่อใช้ในการกำจัดขยะและมีผลพลอยได้คือก๊าซชีวภาพ Shefali Verma (2002) ศึกษาสภาพของขยะในเมืองนิวออร์ค เพื่อกำจัดด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากขยะในตัวเมืองมีปริมาณขยะมากถึง 12,340 ตัน/วัน โดยวิธีการกำจัดขยะในขณะนั้นคือต้องส่งขยะออกไปกำจัด ด้วยการฝังกลบ นอกตัวเมือง ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงในการขนส่งและปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากยานพาหนะอีกด้วย

เมื่อวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบขยะในตัวเมืองพบว่า เมื่อแยกเอาสารอินทรีย์ออกมาแล้วจะมีปริมาณของขยะอินทรีย์ 2,300 ตัน/วัน จะทำให้สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 215,260 m³/ปี หรือคิดเป็น ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ 90 m³/ตันของขยะอินทรีย์ที่เข้าระบบ และประมาณการว่าโครงการนี้จะใช้เงินลงทุนประมาณ 500 ล้านดอลลาร์สหรัฐ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและซ่อมบำรุงประมาณ 36 ล้านดอลลาร์สหรัฐ/ปี โดยจะมีรายได้จากการรับจ้างกำจัดขยะที่ราคา 90 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตัน และ

ขายก๊าซชีวภาพที่โครงการผลิตได้ในราคา 0.06 ดอลลาร์สหรัฐ/ m³ โดยโครงการนี้ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากรอบข้างโครงการมีความต้องการใช้ก๊าซชีวภาพในปริมาณสูง

ในการใช้งานระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น ระบบจะมีความหลากหลายทั้งจำนวนของถังหมัก สัดส่วนของแข็งในขยะ และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบของผู้ผลิตซึ่งส่วนใหญ่เป็นบริษัทที่อยู่ในประเทศกลุ่มยุโรป แต่กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีลักษณะที่เหมือนกัน โดยจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 2.4 อันประกอบไปด้วย Hydrolysis, Acidogenesis, Acetogenesis, Methanogenesis โดยรายละเอียดของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของแต่ละบริษัทแสดงดังตารางที่ 2.12

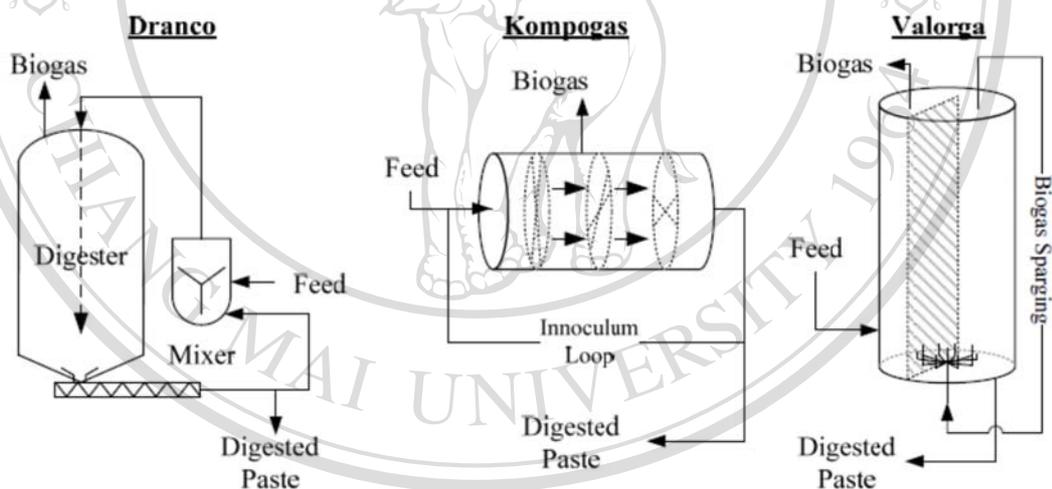
ตารางที่ 2.12 บริษัทเจ้าของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและรูปแบบที่แตกต่างกัน (University of California, Davis , 2008)

เจ้าของเทคโนโลยี	No. Plant	รองรับขยะ (ตัน/ปี)	จำนวน ถังหมัก		Total Solids Content		อุณหภูมิถังหมัก	
			1	2	< 20%	> 20%	35°C	55°C
AAT	8	3,000 - 55,000	X		X		X	
ArrowBio	4	90,000 - 180,000		X	X		X	
BTA	23	1,000 - 150,000	X	X	X		X	X
Biocel	1	35,000	X			X	X	
Biopercolat	1	100,000		X		X	X	
Biostab	13	10,000 - 90,000	X		X			X
DBA-Wabio	4	6,000 - 60,000	X		X		X	
DRANCO	17	3,000 - 120,000	X			X		X
Entec	2	40,000 - 150,000	X		X		X	
Haase	4	50,000 - 200,000		X	X		X	X
Kompogas	38	1,000 - 110,000	X			X		X
Linde-KCA/BRV	8	15,000 - 150,000	X	X	X	X	X	X
Preseco	2	24,000 - 30,000						

Schwarting-Uhde	3	25,000 - 87,600		X	X			X
Valorga	22	10,000 - 270,000	X			X	X	X
Waasa	10	3,000 - 230,000	X		X		X	X

ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนดังที่กล่าวมาแบ่งออกหลัก ๆ ได้เป็น One-stage Systems, Two-stage Systems ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ซึ่งแต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

One-stage Systems คือระบบที่ใช้ถังหมักขยะอินทรีย์เพียงถังเดียว ข้อดี คือการ ออกแบบ และก่อสร้างง่าย การดำเนินงานไม่ยุ่งยาก อีกทั้งยังมีราคาที่ไม่แพง แต่อัตราการป้อนขยะอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับความสามารถของขั้นตอน Methanogenesis ซึ่งจะไม่สามารถทำงานได้เต็มที่เนื่องจากการที่ระบบจะมีภาวะเป็นกรดเพิ่มขึ้นในกระบวนการ Hydrolysis, Acidogenesis, Acetogenesis ซึ่งขัดแย้งกับความต้องการของแบคทีเรียที่ใช้ในขั้นตอน Methanogenesis ซึ่งต้องการความเป็นกรดต่างที่ต่างกัน



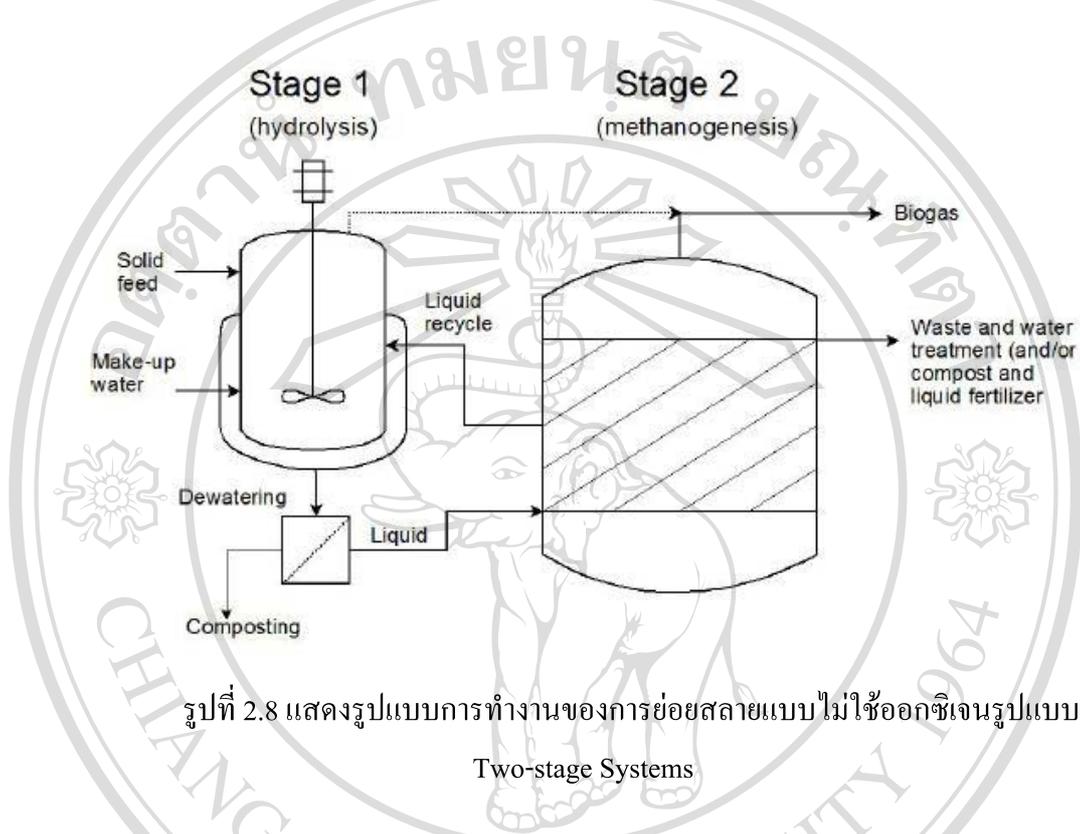
รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการทำงานของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนรูปแบบ

One-stage Systems

จากข้อจำกัดของระบบแบบ One-stage Systems จึงมีการพัฒนาระบบ Two-stage Systems ซึ่งจะแยกกระบวนการ Hydrolysis, Acidogenesis, Acetogenesis ออกจากกระบวนการ Methanogenesis

ส่งผลให้เกิดข้อดีของระบบ Two-stage Systems คือทำให้อัตราการป้อนขยะอินทรีย์เข้าสู่ระบบเพิ่มมากขึ้น โดยถังหมักแรกนั้น อัตราป้อนจะขึ้นอยู่กับกระบวนการ Hydrolysis เป็นหลัก โดย

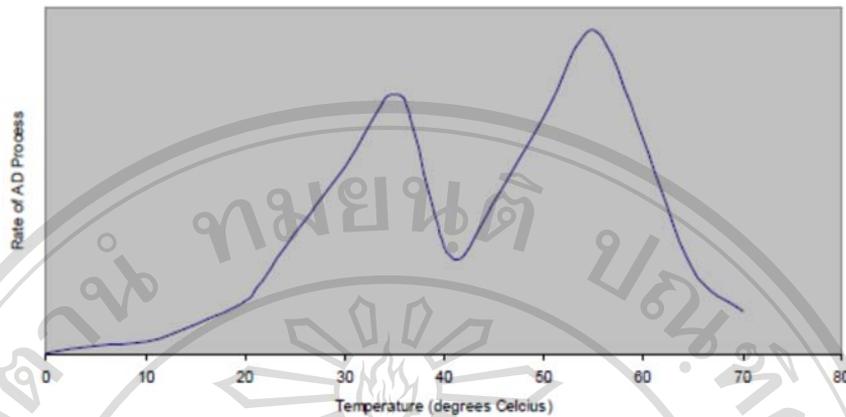
ต้องพิจารณาว่าขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้ามานั้นมีสารประกอบ คาร์โบไฮเดรตประเภทเซลลูโลส มากหรือน้อยเพียงใด แต่ข้อเสียของระบบนี้คือต้องเพิ่มถังหมักขึ้นมาอีกหนึ่งถัง ทำให้มีราคาที่สูงและ การดำเนินงานที่ยุ่งยากกว่าแบบ One-stage Systems



รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการทำงานของกร่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนรูปแบบ Two-stage Systems

นอกจากจำนวนถังหมักแล้ว ยังมีตัวแปรที่สำคัญอื่น ๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ อุณหภูมิในการเดินระบบ, ค่าพีเอช, ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio), ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก, สารอาหาร, สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย, การคลุกเคล้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อุณหภูมิในการเดินระบบ (Temperature) โดยทั่วไปแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methanogenic bacteria) จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือช่วงอุณหภูมิระดับกลางประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส (Mesophilic Digestion Process) และช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส (Thermophilic Digestion Process) ดังความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Karena Ostrem, 2004)

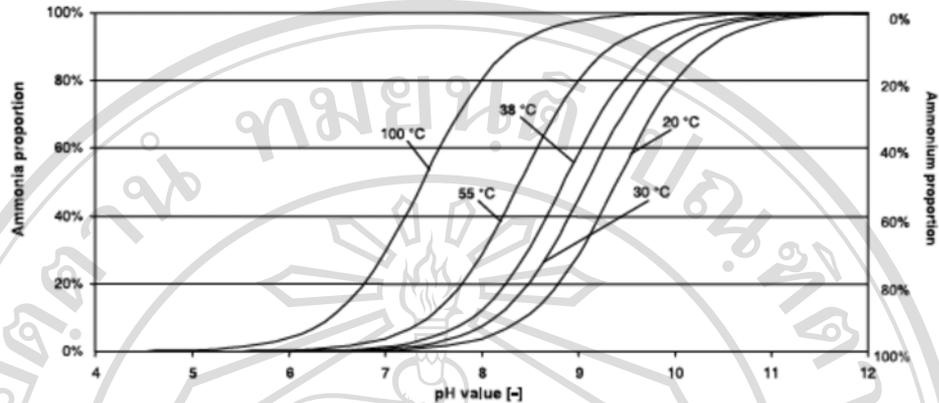
โดยทั่วไปอัตราการผลิตก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่สำหรับประเทศไทยการเดินระบบที่อุณหภูมิสูงกว่า 30-35 องศาเซลเซียส จะต้องใช้พลังงานจากภายนอกเพื่อให้ความร้อนกับถังหมัก ดังนั้นการเดินระบบที่อุณหภูมิมะดับกลางจึงถือได้ว่าเป็นหนทางที่จะได้พลังงานสุทธิมากกว่าการเดินระบบที่อุณหภูมิสูง

พีเอช (pH) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.6-7.8 โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะอยู่ในช่วง 7-7.2 ในกรณีที่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ลดลงได้ โดยหากค่าพีเอชต่ำกว่า 6.6 ก็จะมีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน และหากค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 ก็ถือได้ว่าถังปฏิกรณ์นั้นล้มเหลว

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ Low-solids หมายถึงขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content) ประมาณร้อยละ 10-15 และ High-solids คือขยะอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ประมาณร้อยละ 20-40 โดยจะต้องควบคุมให้เหมาะสม เนื่องจากหากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไปก็จะทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ ไม่เพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ และทำให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ในขณะที่หากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่าย ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลงและยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน

อีกปัจจัยหนึ่งคืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้ทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ต่างๆ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะอยู่ในช่วง 20-30 อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราส่วนดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่กรณี หากไนโตรเจนน้อยจะทำให้การเจริญเติบโตของ

แบคทีเรียไม่เต็มที แต่หากมีไนโตรเจนที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจะมีผลสืบเนื่องต่อค่า pH ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ค่า pH ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อมีสัดส่วนของก๊าซแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงไป (Klaus Fricke, 2007)

ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมัก (Retention Time) ระยะเวลาเก็บกักขยะอินทรีย์ในถังหมักจะขึ้นกับอุณหภูมิในการเดินระบบ ชนิด ลักษณะสมบัติและปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หากทำการออกแบบถังหมักให้มีระยะเวลากักพักสั้นเกินไปก็จะไม่เพียงพอสำหรับการทำงานของแบคทีเรียในการผลิตก๊าซมีเทน และทำให้แบคทีเรียถูกชะล้างออกจากระบบเร็วเกินไป ในขณะที่การออกแบบให้ถังหมักมีระยะเวลาเก็บกักมากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมกาคตะกอนที่ย่อยสลายแล้วที่บริเวณก้นถังซึ่งจะระบายออกจากถังได้ยาก

สารอาหาร (Nutrient) แบคทีเรียต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโตที่นอกเหนือจากคาร์บอนและ ไนโตรเจน ได้แก่ ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นในปริมาณน้อย เช่น เหล็ก แมกกาเนส โมลิบดีนัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ฟอสเฟต และนิกเกิล เป็นต้น ซึ่งขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้สมดุลและเพียงพออยู่แล้ว

สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Inhibitory Factors) เช่น โลหะหนัก สารพิษ และสารปฏิชีวนะต่างๆ รวมทั้งสารทำความสะอาดต่างๆ สามารถยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนของแบคทีเรียได้

การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าสารอินทรีย์ภายในถังหมักมีความสำคัญมากเนื่องจากจะทำให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง เพื่อกระตุ้นการเกิดก๊าซชีวภาพและเพื่อลดการตกตะกอนของของแข็งบริเวณก้นถัง รวมทั้งเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนลอยบริเวณส่วนบนของถัง

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ

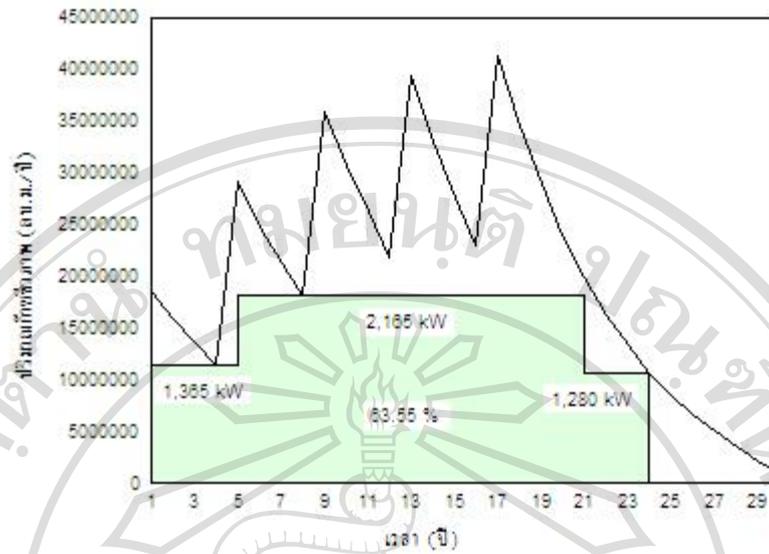
นอกจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว การผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบก็เป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการชีวเคมีในการผลิตพลังงานจากขยะ โดยการใช้งานหลุมฝังกลบขยะในประเทศไทยถูกใช้งานมาเป็นเวลานานแล้วแต่หลุมฝังกลบขยะส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาใช้งาน (สมใจ, 2002) ทำการจำลองการเกิดก๊าซชีวภาพของมูลฝอยจากเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ โดยใช้ถังเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 ม. จำนวน 5 ถัง เวลาที่ใช้ในการศึกษารวม 44 เดือน สามารถหาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซชีวภาพต่อปีได้รวม 4 ปี และได้ทำการประเมินอัตราการเกิดก๊าซในปีที่ 5-15 เพิ่มเติม เพื่อนำไปใช้ในการประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากพื้นที่

จะเห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วง 2 ปีแรกจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงลงและเมื่อรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตลอด 15 ปีแล้วจะพบว่า เกิดก๊าซชีวภาพรวม 223.8 m³/ตันมูลฝอย โดยข้อมูลจริงจากการจำลองแสดงได้ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการทดลอง

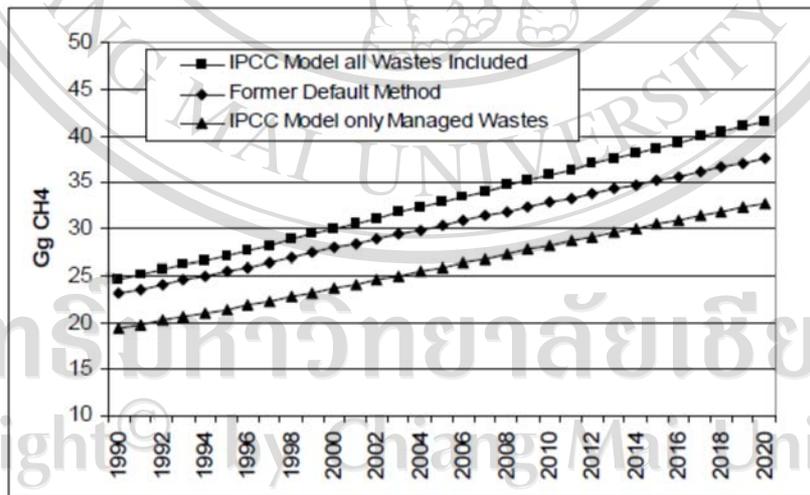
ปีที่	อัตราการเกิดก๊าซ
	ก๊าซชีวภาพ (m ³ /ตันมูลฝอยเปียก)
1	26.5
2	32.21
3	27.59
4	23.56

ในงานวิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างกรณีศึกษาของพื้นที่ที่มีปริมาณ ประชากร 600,000 คน อัตราการเพิ่ม ประชากร 1.2% ต่อปี อัตราการทิ้งมูลฝอย 0.8 กิโลกรัม/(คน.วัน) หรือคิดเป็น ประมาณ 480 ตันต่อวัน สภาวะที่ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ได้สูงสุดคือ มีหลุมฝังกลบ 5 หลุม มีอายุการฝังกลบแต่ละหลุม 4 ปี โดยถือว่าปริมาณก๊าซจะเริ่มใช้ได้ในปีถัดไปหลังจากปิดหลุมฝังกลบมูลฝอยแล้ว ได้ปริมาณก๊าซมีเทนรวมสูงสุด 215 ,869,130 ลบ.ม. และก๊าซชีวภาพรวมสูงสุด 605 ,291,260 ลบ.ม. ศูนย์กำจัดมูลฝอยของจังหวัด จะใช้เครื่องผลิตขนาด 500 kW จำนวน 6 ชุด ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า

นอกจากนั้น Melissa Weitz (2007) ประเมินการเกิดก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบขยะในประเทศปานามาตั้งแต่ปี 1990-2020 โดยใช้ 2006 IPCC Waste Model พบว่า มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น อยู่ในช่วง 24.6 Gg ในปี 1990 และ 41.6 Gg ในปี 2020 ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบขยะในประเทศปานามา

จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการประเมินปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีด้วยกัน ซาติ เจียมไชยศรี (2546) ทำการประเมินศักยภาพและอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบ การประเมิน

ก๊าซชีวภาพ 3 วิธี คือ วิธีของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) และ U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) และการตรวจวัดในภาคสนามโดยวิธีกล้องวัดอัตรา การแพร่ระบายแบบปิด

โดย Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ได้กำหนดวิธีการประเมิน ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นที่กำจัดมูลฝอย ไว้ดังสมการที่ 2.2

$$Q = (MSW_T * MSW_F * MCF * DOC * DOC_F * F * 16/12 - R) * (1 - OX) \quad (2.2)$$

- เมื่อ Q คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
 MSW_T คือ ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด (กิโลกรัมต่อปี)
 MSW_F คือ สัดส่วนปริมาณมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัด
MCF คือ ค่าปรับแก้สัดส่วนของมูลฝอยที่ก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ขึ้นอยู่กับวิธีการกำจัดมูลฝอย (มีค่าเท่ากับ 1.0 ในกรณีการฝังกลบและ 0.5 ในกรณีกองมูลฝอยกลางแจ้ง)
DOC คือ สัดส่วนของคาร์บอนอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้
 DOC_F คือ สัดส่วนของคาร์บอนอินทรีย์ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ
F คือ สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ
R คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ (กิโลกรัมต่อปี)
OX คือ สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่ถูกเปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป Landfill Gas Emission Model (LandGEM) เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายของ มูลฝอยในพื้นที่กำจัดมูลฝอยตามเวลา อธิบายโดยใช้ปฏิกิริยาลำดับที่ 1 (First-order decay reaction) ในการย่อยสลายมูลฝอยและการเกิดก๊าซมีเทนดังสมการที่ 2.3

$$Q = LoR (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2.3)$$

- เมื่อ Q คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในปีปัจจุบัน (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
 Lo คือ ศักยภาพของการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอย (ลูกบาศก์เมตรต่อตันมูลฝอย)
R คือ ปริมาณมูลฝอยเฉลี่ยที่รับเข้าสู่พื้นที่กำจัดมูลฝอยในช่วงใช้งาน (ตันต่อปี)

k คือ ค่าคงที่ของการเกิดก๊าซมีเทน (ต่อปี)

c คือ ระยะเวลานับจากการปิดพื้นที่กำจัดมูลฝอยถึงปัจจุบัน (ปี)

t คือ ระยะเวลานับจากการเปิดใช้พื้นที่กำจัดมูลฝอยถึงปัจจุบัน (ปี)

การประเมินอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนในภาคสนามศึกษาโดยใช้วิธีกล่องวัดอัตราการแพร่กระจายแบบปิด ด้วยอุปกรณ์ดัง รูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบด้วยกล่องวัดอัตราการแพร่กระจายรูปทรงกระบอกทำจากโลหะไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.5 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน มีฝาปิดทำจากแผ่นอคริลิกติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ มาโนมิเตอร์แบบเอียงสำหรับวัดความดัน และช่องเก็บตัวอย่างก๊าซ ทำการยึดกล่องวัดกับฐานที่ฝังลงในพื้นที่กำจัดมูลฝอยลึกประมาณ 10 เซนติเมตร ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซภายในกล่องมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซมีเทนตามเวลาและคำนวณอัตราการแพร่กระจายได้จากสมการที่ 2.4



$$J = (V/A)dC/dt$$

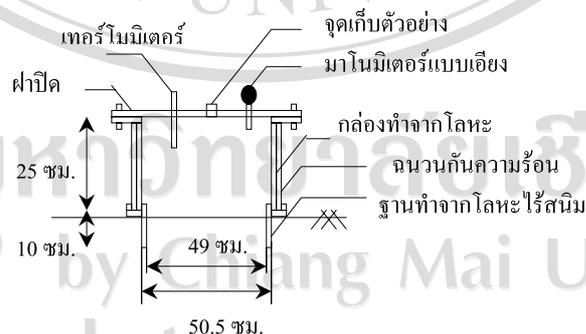
(2.4)

เมื่อ J คือ อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนจากพื้นที่กำจัดมูลฝอย (โมลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

V คือ ปริมาตรของกล่องวัดอัตราการแพร่กระจาย (ลูกบาศก์เมตร)

A คือ พื้นที่ผิวได้กล่องวัดอัตราการแพร่กระจาย (ตารางเมตร)

dC/dt คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในกล่องวัดอัตราการแพร่กระจายตามเวลา (โมลต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)



รูปที่ 2.13 กล่องวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซ

จากข้อมูลอัตราการเกิดขยะมูลฝอยและปริมาณขยะมูลฝอยที่นำไปกำจัด รวมทั้งขนาดของพื้นที่และวิธีการกำจัดมูลฝอยในพื้นที่กำจัดมูลฝอยต่างๆของประเทศไทยจำนวน 142 แห่ง สามารถนำมาประเมินศักยภาพของการผลิตก๊าซมีเทนจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยโดยวิธีการคำนวณของ IPCC

ได้ทั้งสิ้นประมาณ 138.9 กิกะกรัมต่อปี ซึ่งสูงกว่าการประเมินโดยโปรแกรม Landfill Gas Emission Model (LandGEM) ของ USEPA ซึ่งประเมินได้เท่ากับ 94.6 กิกะกรัมต่อปี ในขณะที่การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยและกองมูลฝอยกลางแจ้งโดยวิธีกล้องวัดอัตราการแพร่กระจายแบบปิด พบว่าประเมินอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนได้รวมเท่ากับ 64.3 กิกะกรัมต่อปี โดยอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยที่ตรวจวัดได้มีความแปรผันมากในแต่ละวิธีที่ใช้ในการประเมิน เนื่องมาจากอิทธิพลของ สภาพภูมิอากาศ วิธีการกำจัดมูลฝอย ดินกลบทับมูลฝอย และการเคลื่อนที่ของก๊าซชีวภาพในบริเวณพื้นที่ฝังกลบหรือกองมูลฝอย

2.3 หลักการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผา

การกำจัดขยะ โดยใช้เตาเผาเป็นเทคโนโลยีที่ใช้แก้ปัญหาวิกฤติขยะในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ เนื่องจากการเผาเป็นการกำจัดขยะ ที่มีการลดปริมาตรที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนั้นแล้ว การใช้เตาเผายังให้ผลพลอยได้คือพลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การผลิตไอน้ำ หรือทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น โดยการผลิตพลังงานจากขยะโดยใช้เตาเผานั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญ คือ ปริมาณของขยะที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบและ ค่าความร้อนของขยะมูลฝอยซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชื้นและองค์ประกอบของขยะ

ส่วนประกอบหลักของการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเตาเผาขยะมีดังต่อไปนี้

1. ส่วนบันทึกน้ำหนักและควบคุมขยะ สำหรับการออกใบสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียน ตรวจสอบและควบคุมขยะที่จะนำเข้าโรงเผา ในที่นี้จะมีการบ่งบอกประเภทของขยะ ชั่งน้ำหนัก และบันทึกข้อมูลก่อนที่จะนำเข้าสู่โรงเผาต่อไป

2. การลดขนาด การคัดแยก และการตรวจสอบขยะ ระบบนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งกำเนิดของขยะซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการลดขนาดให้มีขนาดเล็กลง (เช่น กรณีที่มีขนาดใหญ่เกินไป) รวมถึงการคัดแยกนำขยะส่วนที่ไม่สามารถเข้าโรงเผาได้ออกไปก่อน

3. การเทและหลุมรองรับขยะ ขยะจะถูกเทลงหลุมรองรับขยะ โดยทั่วไปจะออกแบบให้ความจุของหลุมสามารถรองรับขยะเพียงพอในแต่ละวันและต้องเผื่อไว้ให้สามารถรองรับขยะได้ตลอดทั้งสัปดาห์ด้วยเพื่อให้มีการผสมขยะให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เตาเผา

4. ระบบป้อนขยะ ขยะที่ถูกผสมเข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาทางช่องป้อน

5. ห้องเผา ครั้งแรกขยะจะถูกทำให้แห้ง ก่อนที่จะมีการลุกติดไฟตามด้วยการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในโซนของการเผาไหม้ในลานเผาที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้หลังเพื่อทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

6. ระบบนำพลังงานกลับมาใช้ ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสามารถได้พลังงานกลับมาในรูปของความร้อนหรือไอน้ำ หรือพลังงานไฟฟ้า หรือแบบผสมผสาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานพลังงานบริเวณนั้น

7. ระบบนำเถ้าออก เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะถูกเก็บและขนส่งด้วยระบบลำเลียง ซึ่งสามารถร่อนคัดแยกและใช้ในการทำเป็นวัสดุรองพื้นในการก่อสร้างถนนหรือเพื่อการก่อสร้าง โดยเถ้าส่วนที่ถูกคัดออกมากจะถูกนำไปฝังกลบแบบถูกตามหลักสุขาภิบาล

8. ระบบควบคุมมลพิษอากาศ ระบบควบคุมมลพิษอากาศหลักๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับระดับของการควบคุม อาจใช้เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ หรือเครื่องกรองแบบถุงกรอง สำหรับดักอนุภาคฝุ่นและโลหะหนักบางชนิดและอาจมีการเพิ่มระบบทำความสะอาดก๊าซด้วยวิธีทางเคมี เช่น Dry/Semidry Scrubber ตามด้วยเครื่องกรองแบบถุงกรอง หรือ Wet Scrubber และมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุม NO_x หรือไดออกซินด้วยการใช้เครื่องกรองแบบถุงกรองแบบพิเศษ

9. ปล่องระบายไอเสีย ไอเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วในที่สุดจะปล่อยระบายออกทางปล่องระบายไอเสีย ความสูงของปล่องระบายขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ที่ตั้ง โรงเผาขยะและสถานะทางอุตุนิยมวิทยา

ในส่วนของห้องเผาไหม้ จะมีเทคโนโลยีที่ใช้หลัก ๆ 3 ชนิดคือ เตาเผาแบบตะกรับเคลื่อนที่ (Moving grate) เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) และ เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) โดยเตาเผาแบบตะกรับเคลื่อนที่เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้วว่ามีความเหมาะสมทางเทคนิคที่ยอมรับได้และสามารถรองรับการเผาทำลายขยะที่มีองค์ประกอบและความร้อนที่หลากหลาย ระบบที่ได้รับความนิยมรองลงมาคือ ระบบเตาเผาแบบหมุน ส่วนการใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด นั้นไม่นิยมใช้กับขยะมูลฝอยเนื่องจากความยุ่งยากของการจัดการขยะเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบ โดยข้อดีและข้อเสียของเตาเผาทั้ง 3 แบบแสดงได้ดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 สรุปข้อดี-ข้อเสียของ เตาเผาประเภทต่างๆ

ชนิดของเตาเผา	ข้อดี	ข้อเสีย
1. เตาเผาแบบตะกรับเคลื่อนที่	1. ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะก่อน 2. เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้กันอย่าง	1. เงินลงทุนและบำรุงรักษาก่อนข้างสูง

	<p>แพร่หลาย และได้รับการทดสอบ แล้วสำหรับการเผาทำลายขยะ</p> <p>3. สามารถจัดการกับขยะที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี</p> <p>4. สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 85%</p> <p>5. เตาเผาแต่ละเตาสามารถก่อสร้างให้มีความสามารถในการเผาทำลายได้ถึง 1,200 ตันต่อวัน (50 ตันต่อชั่วโมง)</p>	
2. เตาเผาแบบหมุน	<p>1. ไม่ต้องการการคัดแยก หรือบดตัดขยะก่อน</p> <p>2. สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 80%</p> <p>3. สามารถจัดการกับขยะที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี</p>	<p>1. เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้ในการเผาทำลายขยะค่อนข้างน้อย</p> <p>2. เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง</p>
3. เตาเผาแบบฟลูอิด ไคซ์เบด	<p>1. เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการออกแบบที่ค่อนข้างง่าย</p> <p>2. สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 90%</p> <p>3. สามารถใช้ในการเผาทำลายขยะหลากหลายประเภทและสามารถรองรับได้ทั้งกาก</p>	<p>1. ณ ปัจจุบันยังจัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังต้องการการทดสอบอยู่สำหรับการเผาทำลายขยะ</p> <p>2. ค่อนข้างมียุ่งยากในการจัดการขยะก่อนส่งเข้าเตาเผา</p>

	ของแข็งและเหลวโดยเผา ทำลายร่วมกัน หรือเผาแยก	
--	---	--

ประสิทธิภาพการนำเอาพลังงานที่มีอยู่ในขยะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของพลังงานที่ต้องการใช้งาน โดยอาจจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือ พลังงานไฟฟ้า

ประสิทธิภาพที่ได้จากการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่สำหรับ รูปแบบพลังงานที่ต้องการแต่ละประเภทเทียบกับค่าความร้อนของขยะที่เข้าสู่ระบบสรุปดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 สรุปประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

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%

สำหรับประเทศไทยมีการใช้งานเทคโนโลยีนี้ที่จังหวัดภูเก็ต โดยโรงไฟฟ้าเตาเผาขยะชุมชน เทศบาลนครภูเก็ต มีกรมโยธาธิการเป็นผู้ดำเนินการ โครงการโดยใช้เทคโนโลยีเตาเผาชนิดตระกรับแบบเผาไหม้ต่อเนื่อง จากประเทศญี่ปุ่น ปริมาณขยะชุมชนที่ระบบสามารถรับได้ 250 ตัน/วัน ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 2.5 MW ปัจจุบันผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโครงการและจำหน่าย

2.4 หลักการทำงานของกรดย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

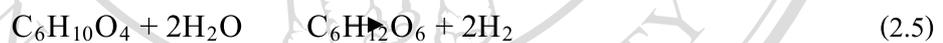
ขยะอินทรีย์ที่อยู่ในสภาวะไร้อากาศ จะถูกจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน หรือเรียกรวมกันว่าก๊าซชีวภาพซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในสภาพแวดล้อมที่มีสารอินทรีย์ อยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนเช่น ในดินที่มีน้ำท่วมขัง หนอง บึง เป็นต้น

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการกำจัดขยะวิธีหนึ่งที่อาศัยหลักการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนดังกล่าว โดยเป็นกระบวนการหมักขยะอินทรีย์ในถังปิดสนิทที่มี จุลินทรีย์ซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายขยะอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ และมีผลพลอยได้เป็นสารปรับสภาพดินหรือปุ๋ยอินทรีย์

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ขั้นตอนได้ ดังนี้

Hydrolysis เป็นขั้นตอนที่ Hydrolytic Bacteria จะปล่อยเอนไซม์เช่น cellulose, protease, lipase เพื่อกระตุ้นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้กลายเป็นสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว เช่น การย่อยสลายแป้งให้อยู่ในรูปของน้ำตาล การย่อยสลายไขมันให้อยู่ในรูปของกรดไขมัน และการย่อยสลายโปรตีนให้อยู่ในรูปของกรดอะมิโน เป็นต้น แต่หากสารอินทรีย์ที่เข้ามาในขั้นตอนนี้มีสารประกอบคาร์โบไฮเดรตประเภทเซลลูโลสสูง เช่น เศษกิ่งไม้ จะทำให้ขั้นตอนนี้ใช้เวลามากกว่าปกติ

ในที่นี้จะยกตัวอย่างกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้น โดยกำหนดให้ขยะอินทรีย์มีสูตรโมเลกุลโดยประมาณ $C_6H_{10}O_4$ เมื่อผ่านกระบวนการ Hydrolysis แล้ว สิ่งที่ได้คือ น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) ดังสมการ 2.5

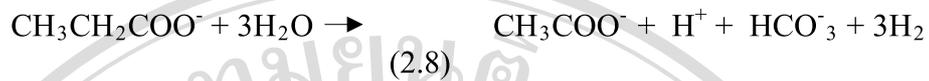


Acidogenesis เป็นขั้นตอนที่ Acidogenic Bacteria จะทำการการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวทั้งน้ำตาล, กรดไขมัน, กรดอะมิโนให้อยู่ในรูปของ Volatile Fatty Acid (propionic, formic, lactic, butyric, succinic acid), Ketones (ethanol, methanol, glycerol, acetone) และ แอลกอฮอล์ สมการที่ 2.6 แสดงให้เห็นกลูโคสถูกย่อยเป็นเอทานอล (CH_3CH_2OH) จากนั้นสมการที่ 2.7 แสดงการย่อยสลายของน้ำตาลกลูโคสเป็นกรดโพรพิโอนิก (CH_3CH_2COOH)



Acetogenesis เป็นขั้นตอนที่ Acetogenic Bacteria การเปลี่ยนกรดระเหยง่ายให้กลายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน รวมทั้งจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนออกมามากขึ้น สมการสำคัญที่เกิดในขั้นตอนนี้มีดังนี้

สมการที่ 2.8 แสดงการย่อยสลายกรดโพรพิโอนตจากกระบวนการที่ผ่านมาให้เป็นกรดอะซิติก (CH_3COOH) และจะมีผลพลอยได้คือก๊าซไฮโดรเจน (H_2)

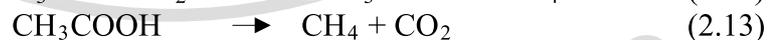


การย่อยสลายกลูโคส, เอทานอล, ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ให้เป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตต แสดงได้ดัง สมการที่ 2.9, 2.10 และ 2.11



ในกระบวนการดังกล่าวนี้จะทำให้ค่า pH ของระบบลดต่ำลงซึ่งจะทำให้เป็นผลดีกับ Acidogenic Bacteria และ Acetagenic Bacteria ซึ่งจะทำงานได้ดีในสภาวะกรดเล็กน้อย ค่า pH ที่เหมาะสมประมาณ 4.5-5.5

Methanogenesis เป็นขั้นตอนที่ Methanogenic anaerobic bacteria ทำการเปลี่ยนกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตตให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเดียวกับการเกิดมีเทนในหลุมฝังกลบขยะและในลำไส้ของสัตว์กินพืชบางชนิด โดย 2 ใน 3 ของมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะมาจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปมาจากกรดอะซิติก หรือ อะซิเตต ดังสมการที่ 2.12 และ 2.13 และการทำปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ ดังสมการที่ 2.14



ส่วนก๊าซมีเทนที่เหลือจะเกิดจากการทำปฏิกิริยากันของ คาร์บอน ไดออกไซด์และไฮโดรเจนดังสมการ ที่ 2.15



โดยมากแล้วอัตราการป้อนขยะอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับความสามารถของขั้นตอนนี้เป็นหลัก ซึ่งแบคทีเรียที่ทำงานในขั้นตอนนี้จะต้องการภาวะความเป็นกรด ดังที่ค่า pH ประมาณ 6-8 ซึ่งแตกต่างจากขั้นตอนที่ผ่านมา

จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของขยะอินทรีย์ ผลที่ได้คือก๊าซชีวภาพซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ ที่ได้มาจากระบบนี้ จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซ มีเทน ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ก๊าซชีวภาพยังมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมทั้งมีก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซอื่นๆ ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และออกซิเจน นอกจากนี้อาจมีฝุ่นละอองเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพด้วย โดยตัวอย่างผลการวิเคราะห์ คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นดังตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อม และพลังงาน, 2550)

องค์ประกอบ	หน่วย	ปริมาณ/ความเข้มข้น
Methane (CH ₄)	%volume	60-70
Carbon dioxide (CO ₂)	%volume	30-40
Hydrogen sulfide (H ₂ S)	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

ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก๊าซมีเทนเป็นหลัก ดังตารางที่ 2.17 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ โดยหากระบบมีขนาดใหญ่ ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า/ความร้อนโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) กังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม แต่หากระบบมีขนาดเล็กก็อาจนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ตัดแปลง หรือใช้ผลิตความร้อนสำหรับฟาร์มปศุสัตว์ต่างๆ สำหรับระบบที่มีขนาดเล็กมาก ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำมาใช้สำหรับตะเกียงก๊าซ (Biogas Lamp) หรือเตาหุงต้มก็ได้

ตารางที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ของก๊าซมีเทนที่มีผลต่อค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (David)

%CH ₄ by Volume	%CH ₄ by Weight	LHV (Btu/ft ³)	LHV (MJ/m ³)
40%	19.60%	385	14.34
42%	20.90%	405	15.09
44%	22.30%	424	15.80
46%	23.70%	443	16.51
48%	25.20%	463	17.25
50%	26.70%	482	17.96
52%	28.30%	501	18.67
54%	30.00%	520	19.37
56%	31.70%	540	20.12
58%	33.50%	559	20.83
60%	35.40%	578	21.54
62%	37.30%	598	22.28
64%	39.30%	617	22.99
66%	41.40%	636	23.70
68%	43.70%	655	24.40
70%	46.00%	675	25.15

ส่วน กากตะกอนที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบสำคัญคือ ฮิวมัส (Humus) ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุที่คงสภาพ และยากต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารพืช ทำให้ดินร่วนซุย ช่วยส่งเสริมการทำงานของรากพืชในการชอนไชดิน และอาหาร และช่วยป้องกันการพังทลายของหน้าดิน ดังนั้น จึงเหมาะที่จะนำกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเพาะปลูกพืช

ในประเทศไทยมีการใช้งานเทคโนโลยีนี้ 2 แห่งคือ โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานเทศบาลนครระยอง และ โครงการก่อสร้างศูนย์กำจัดมูลฝอยรวม อบจ. ชลบุรี

สำหรับโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์และพลังงานเทศบาลนครระยองนั้น เทศบาลนครระยอง และมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานเป็นผู้ดำเนินการ โครงการโดยใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากประเทศฟินแลนด์

ปริมาณขยะอินทรีย์ที่ระบบรับได้ 60 ตัน/วัน ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 625 kW ปัจจุบัน เริ่มเดินระบบ และนำขยะอินทรีย์เข้าระบบได้เพียง 10-15 ตัน/วัน

ส่วนโครงการก่อสร้างศูนย์กำจัดมูลฝอยรวม อบจ. ชลบุรีเป็นผู้ดำเนินการโครงการ โดยใช้เทคโนโลยี ระบบผสมผสานจากประเทศ เยอรมัน ซึ่งประกอบด้วยระบบหมักปุ๋ย ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เตาเผาขยะติดเชื้อ และระบบฝังกลบ ปริมาณขยะชุมชนที่ระบบรับได้ 330 ตัน/วัน ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 1 MW

2.5 หลักการผลิตไฟฟ้าของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ

การกำจัดขยะด้วยวิธีการฝังกลบเป็นการนำขยะมาทำการฝังกลบในพื้นที่ซึ่งได้จัดเตรียมไว้ โดยใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะยุบตัวลง จากนั้นใช้ดินบดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงนำขยะมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องกลิ่น แอมलग น้ำชะขยะและเหตุเดือดร้อนรำคาญอื่นๆ

หลุมฝังกลบขยะจึงมีลักษณะเหมือนถังหมักขนาดใหญ่ โดยมีน้ำและขยะอยู่ภายใน สิ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวคือ น้ำชะขยะและก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายขององค์ประกอบสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะมีรูปแบบเดียวกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.4

ในการดำเนินงานผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะนั้น มีหลักการดำเนินงานและรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ระบบบำบัดขั้นต้น

ระบบบำบัดขั้นต้นถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงลักษณะสมบัติของขยะให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น วิธีการที่ใช้ได้แก่ การคัดแยก การบดย่อยขยะให้มีขนาดเล็กลง ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบบำบัดข้างต้น คือ ลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนและกระตุ้นให้เกิดการยุบตัวของขยะได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้ปริมาณขยะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงช่วยลดระยะเวลาที่จะเกิดการปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อม อีกด้วย

2. การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่

การดำเนินงานฝังกลบขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาลมีอยู่ 3 ประเภทได้แก่ ระบบฝังกลบแบบพื้นที่, การฝังกลบแบบร่อง และการฝังกลบแบบบ่อ ซึ่งแต่ละประเภทมีการดำเนินงานดังนี้

การฝังกลบแบบพื้นที่ เป็นการฝังกลบที่เหมาะสมกับบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศที่ไม่เหมาะสมจะขุดเป็นร่องเพื่อฝังกลบขยะ โดยจะเทขยะและเกลี่ยเป็นแถวยาวกว้างประมาณ 3-7 เมตรไปบนพื้นที่เป็นชั้นๆ หนาชั้นละประมาณ 0.40 - 0.75 เมตร แล้วอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นถัดไป แล้วอัดทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ความหนาประมาณ 2 - 3 เมตร จากนั้นกลบดินบนชั้นขยะหนาประมาณ 0.15 - 0.30 เมตร ทุกครั้งก่อนเลิกงานฝังกลบประจำวัน

การฝังกลบแบบร่อง เหมาะกับสถานที่ฝังกลบที่สามารถขุดและนำดินมากลบบทับได้ และชั้นดินมีความหนาพอสมควร วิธีการดำเนินงานเริ่มจากการใช้รถขุดพื้นดินเป็นร่องยาวประมาณ 30 - 100 เมตร กว้าง 5 - 8 เมตร ลึก 2 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างของร่องเป็นเขื่อนดินเมื่อขุดร่องไปตามต้องการแล้ว จึงเทขยะไปในร่องโดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 0.45 - 0.60 เมตร แล้วอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้ก่อนที่จะเทขยะชั้นต่อไปลงไปแล้วบดอัดใหม่เป็นชั้นทับกันไปเรื่อยๆ จนได้ ความสูงของชั้นขยะตามต้องการ

การฝังกลบแบบบ่อหรือพื้นที่ลาดเอียง วิธีการฝังกลบแบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ลาดเอียงหรือเป็นหลุมบ่อขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากการขุด เช่น หุบเขา ห้วย บ่อดิน บ่อเหมือง หากพื้นที่ฝังกลบมีสภาพค่อนข้างราบ การฝังกลบในชั้นแรกอาจใช้วิธีแบบร่อง แล้วฝังกลบในชั้นถัดไป โดยอัดขยะเข้ากับสันบ่อหรือห้วยด้วยความลาดเอียง 2:1 เพื่อให้อัดขยะได้แน่นขึ้น ซึ่งในบางแห่ง วิธีนี้สามารถบดอัดขยะได้จนมีความหนาแน่นถึง 780 กก./ลบ.ม. ในการฝังกลบขยะด้วยวิธีนี้ควรให้ความสูงของชั้นฝังกลบชั้นสุดท้ายอยู่เหนือระดับพื้นดินในบริเวณข้างเคียงเล็กน้อยซึ่งเมื่อมีการทรุดตัวของขยะในบริเวณฝังกลบก็จะทำให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับพื้นดินบริเวณข้างเคียง

3. ระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบ

ระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบแบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ Passive System และ Active System โดยมีรายละเอียดของแต่ละประเภทมีดังนี้

Passive System คือ การระบายก๊าซออกจากหลุมฝังกลบโดยอาศัยแรงดันที่เกิดขึ้นจากการผลิตก๊าซชีวภาพภายในหลุมฝังกลบ โดยการต่อท่อระบายก๊าซในแนวตั้งเพื่อให้ก๊าซระบายออกไปเองเป็นระบบควบคุมก๊าซที่ง่ายที่สุดมักจะใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะขนาดเล็ก หรือใช้กับสถานที่ฝังกลบที่ปิดการใช้งานแล้ว การระบายแบบนี้ประกอบด้วย การติดตั้งบ่อ หรือท่อระบายก๊าซภายในพื้นที่ฝังกลบหรือภายในพื้นที่ใกล้เคียงกับหลุมฝังกลบ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพสามารถระบายออกสู่บรรยากาศได้ดีที่สุด

Active System คือ การใช้เครื่องจักรกลในการดูดก๊าซ เช่นเครื่องดูดอากาศ เพื่อระบายก๊าซออกไปจากหลุมอย่างรวดเร็ว การระบายก๊าซแบบนี้จะเป็นระบบปิดทั้งหมด ซึ่งมักถูกประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ ฟังกลบขยะขนาดกลางหรือขนาดใหญ่เพื่อรวบรวมและนำก๊าซที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ แทนการระบายทิ้ง

4. ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซจากหลุมฝังกลบ

ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบ เครื่องยนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ ที่นิยมได้แก่ Internal Combustion Engine และกังหันก๊าซ

Internal Combustion Engine เป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไป ระบบจะติดตั้งอยู่กับที่และใช้ก๊าซคุณภาพปานกลางในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีกำลังผลิตในช่วง 30 -2,000 kW เหมาะกับสถานที่ฝังกลบที่มีขนาดเล็กเนื่องจากมีความยืดหยุ่นของการทำงานของระบบสูง อย่างไรก็ตามระบบ IC Engine มีข้อจำกัดในเรื่องของการสึกกร่อนของเครื่องยนต์ นอกจากนี้อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิง ของก๊าซจากหลุมฝังกลบยังมีค่าแปรปรวนขึ้นอยู่กับคุณภาพของก๊าซ ซึ่งจะทำให้ระบบมีปัญหาได้

กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ใช้ก๊าซคุณภาพปานกลางในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อขายหรือใช้ภายในโครงการ ซึ่งต้องการปริมาณก๊าซในการดำเนินงานสูงกว่าระบบ IC Engine เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสำหรับใช้งานในสถานที่ฝังกลบขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดของเครื่องยนต์ก๊าซที่ใช้งานมีตั้งแต่ขนาด 500 kW ขึ้นไปอย่างไรก็ตาม ขนาดที่มีใช้งานทั่วไปสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะคือ 2-4 MW

ในประเทศไทยการใช้งานเทคโนโลยีนี้จะเป็นลักษณะของการวางระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายหลังจากการปิดหลุมขยะไปแล้ว มีการดำเนินงาน 2 แห่งคือ โครงการปรับปรุงปริมาณและคุณภาพก๊าซสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชน ซึ่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์

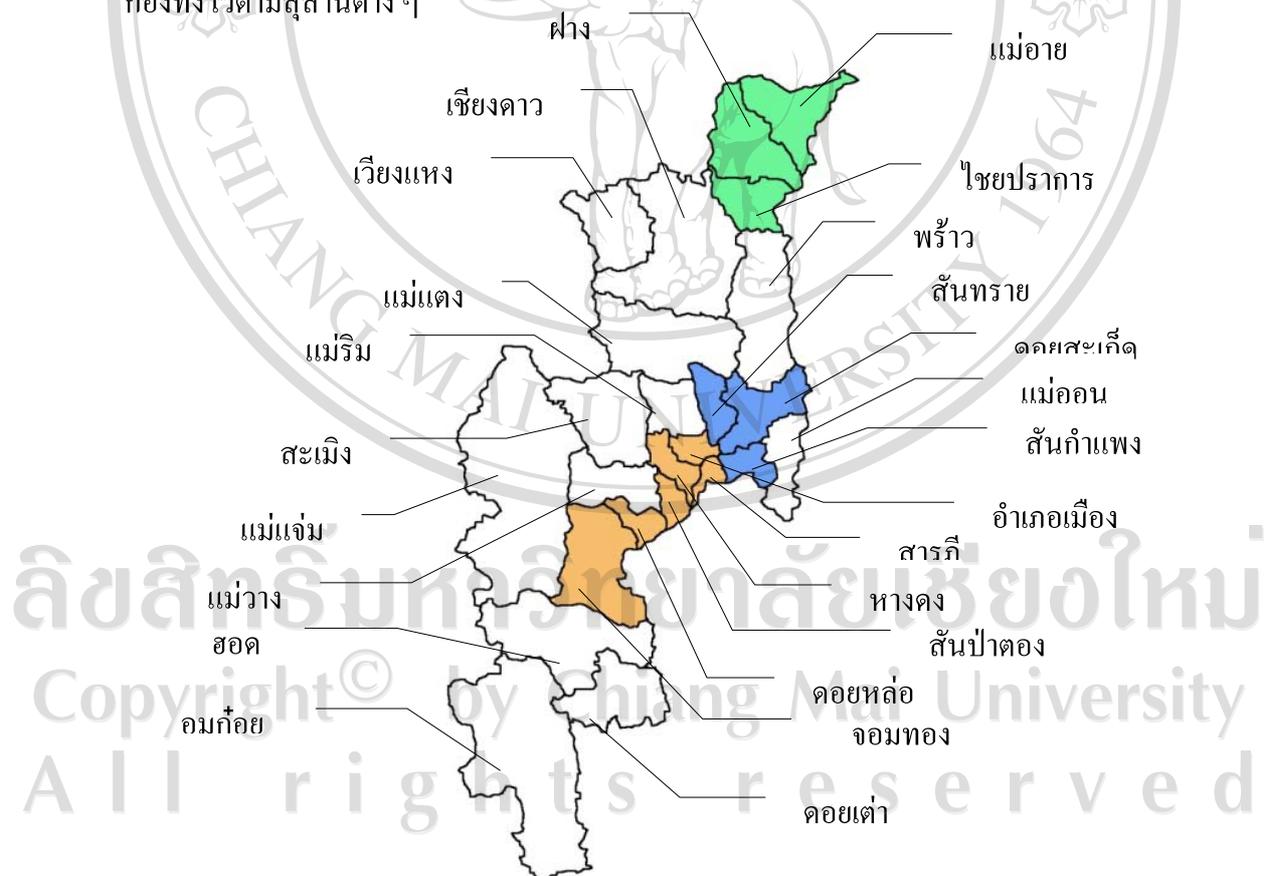
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เป็นผู้ดำเนินการ โครงการโดยใช้เทคโนโลยีการวางท่อรวบรวมก๊าซชีวภาพแบบแนวนอนจากแหล่งฝังกลบขยะชุมชนกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่กำลังการผลิตติดตั้ง 870 kW (ขนาด 435 จำนวน 2 เครื่อง)

ส่วนแห่งที่ 2 คือ โครงการโรงไฟฟ้าราชาเทวะ บริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด โดยกรุงเทพมหานครว่าจ้าง บริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด เก็บขนและกำจัดโดยการฝังกลบ โดยในพื้นที่ฝังกลบราชาเทวะที่มีการใช้งานเต็มพื้นที่ได้ทำการรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยได้เริ่มขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้านครหลวงตั้งแต่เดือนมีนาคม 2549

2.6 การจัดการขยะของเขตใต้ จังหวัดเชียงใหม่

ในส่วนในพื้นที่เขตใต้ จังหวัดเชียงใหม่ จากการเพิ่มขึ้นของขยะมูลฝอยอย่างต่อเนื่อง เทศบาลนครเชียงใหม่ได้ประสบปัญหาในเรื่องสถานที่กำจัดขยะมาเป็นระยะเวลานาน เพราะไม่มีสถานที่กำจัดอย่างถาวร (ธีระพงษ์, 2545) ประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ตั้งโครงการกำจัดขยะมักจะมีแนวคิดเดียวกันคือไม่ยอมให้มีศูนย์กำจัดขยะอยู่ในพื้นที่ของตัวเอง ส่วนหนึ่งมาจากความไม่เชื่อมั่นในเรื่องของการควบคุมปัญหาด้านมลพิษ เนื่องจากในอดีตยังไม่มีข้อบังคับเกี่ยวกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในลักษณะที่เป็นกฎหมาย (ปัทสรา, 2549)

เมื่อสำรวจองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น ๆ ในจังหวัดเชียงใหม่พบว่า องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็ก เช่น เทศบาลตำบล องค์กรบริหารส่วนตำบล มีความพร้อมในการจัดการขยะอยู่ในระดับต่ำมาก โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีในการกำจัดขยะ (สุรีย์, 2546) ประกอบกับ ผลที่ตามมาคือปัญหาขยะที่ตกค้าง, ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นของขยะและแมลงวันที่เกิดจากการนำขยะมากองทิ้งไว้ตามสุสานต่าง ๆ



รูปที่ 2.14 ที่ตั้งของอำเภอและการแบ่งเขตการจัดการขยะในพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่

จากปัญหาดังกล่าว รัฐบาลจึงมีนโยบายที่จะให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีพื้นที่อยู่ใกล้เคียงกันมีการรวมกลุ่มกันของท้องถิ่น เพื่อสร้างศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้ร่วมกันได้และแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยศูนย์กำจัดขยะนี้จะ เน้นการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น การนำมาทำปุ๋ย การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น โดยได้มอบหมายให้กรมควบคุมมลพิษดำเนินงานแบ่งกลุ่มพื้นที่ในการจัดการขยะมูลฝอยทั่วประเทศ

การจัดการขยะในจังหวัดเชียงใหม่มีการจัดตั้งศูนย์กำจัดขยะชุมชนแบบครบวงจร และแบ่งเขตพื้นที่ความรับผิดชอบในการกำจัดขยะชุมชนออกเป็น 3 เขตแสดงในรูปที่ 2.14 มีรายละเอียดดังนี้

เขตเหนือ ให้เทศบาลเวียงฝางเป็นแกนกลางในการก่อสร้างระบบกำจัดมูลฝอย ในพื้นที่ของ อำเภอฝาง อำเภอไชยปราการ และอำเภอแม่เอย

เขตกลาง ให้องค์การบริหารส่วนจังหวัดเชียงใหม่เป็นแกนกลางในการก่อสร้างระบบกำจัดมูลฝอย สำหรับกลุ่มพื้นที่ของ อำเภอดอยสะเก็ด อำเภอสันกำแพง และอำเภอสันทราย

เขตใต้ ให้เทศบาลนครเชียงใหม่เป็นแกนกลางสำหรับกลุ่มอำเภอเมือง อำเภอสารภี อำเภอหางดง อำเภอสันป่าตอง อำเภอจอมทอง และอำเภอดอยหล่อ

ปัจจุบันพื้นที่ในเขตเหนือ ซึ่งรับผิดชอบโดยเทศบาลเวียงฝางได้ดำเนินการก่อสร้างระบบกำจัดมูลฝอย ในพื้นที่เขตเทศบาลเวียงฝาง สามารถรองรับขยะได้ 150 ตันต่อวัน และมีการดำเนินการกำจัดขยะมูลฝอยแล้ว โดยภายในศูนย์กำจัดขยะ มีระบบการคัดแยกวัสดุรีไซเคิลออกเพื่อนำไปขายให้กับผู้รับซื้อของเก่า จากนั้นจึงนำส่วนที่เหลือซึ่งเป็นสารจำพวกสารอินทรีย์ไปเข้าระบบหมักทำเป็นปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่ได้มีการบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายต่อไป ส่วนที่เหลือจากการหมักปุ๋ยจะนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบที่มีการออกแบบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

สำหรับพื้นที่เขตกลางมีรูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยเหมือนกับในเขตเหนือ แต่มีปริมาณการกำจัดออกแบบไว้ที่ 280 – 304 ตันต่อวัน ซึ่งขณะนี้ได้เปิดดำเนินการแล้ว



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 รูปแบบศูนย์กำจัดขยะของเขตเหนือและเขตกลางของจังหวัดเชียงใหม่
(ก) ระบบการคัดแยกวัสดุรีไซเคิล (ข) ระบบหมักทำปุ๋ยหมัก

ส่วนพื้นที่ที่อยู่ใน เขตใต้ของโครงการจัดตั้งศูนย์กำจัดขยะชุมชนครบวงจรของจังหวัดเชียงใหม่ ยังไม่มีการดำเนินงานในการจัดตั้งศูนย์กำจัดขยะ และปัจจุบันปัญหาขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ยังคงมีความรุนแรงและต้องการแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการจัดการอย่างเร่งด่วน

จากรายงานโครงการปรับปรุงแบบและศึกษาระบบบริหารจัดการศูนย์กำจัดขยะโซนใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าหน่วยงานท้องถิ่นที่เข้าร่วม โครงการจะเป็นหน่วยงานที่มีปริมาณขยะ และการจัดการที่เหมาะสม รวมถึงหน่วยงานที่อยู่ใกล้บริเวณศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งได้กำหนดพื้นที่ในการจัดตั้งศูนย์ไว้ที่ ที่ดินราชพัสดุแปลงหมายเลขทะเบียน ชม. 1664 โฉนดที่ดินเลขที่ 157 พื้นที่ประมาณ 1000 ไร่ บริเวณ อ.ดอยหล่อ โดยที่ตั้งของพื้นที่แสดงได้ดังรูปที่ 2.16

ตารางที่ 2.18 หน่วยงานที่เข้าร่วมโครงการศูนย์กำจัดขยะของโซนใต้

เทศบาล	
หน่วยงาน	อำเภอ
เทศบาลนครเชียงใหม่	เมืองเชียงใหม่
เทศบาลตำบลช้างเผือก	เมืองเชียงใหม่
เทศบาลตำบลจอมทอง	จอมทอง
เทศบาลตำบลสันป่าตอง	สันป่าตอง
เทศบาลตำบลบ้านกลาง	สันป่าตอง
เทศบาลตำบลยางเนิ้ง	สารภี
เทศบาลตำบลหนองตองพัฒนา	หางดง
เทศบาลตำบลหางดง	หางดง
องค์การบริหารส่วนตำบล	
หน่วยงาน	อำเภอ
องค์การบริหารส่วนตำบลสบเตี๊ยะ	จอมทอง
องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแปะ	จอมทอง
องค์การบริหารส่วนตำบลคอยแก้ว	จอมทอง
องค์การบริหารส่วนตำบลแม่สอย	จอมทอง
องค์การบริหารส่วนตำบลสันกลาง	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลท่าวังพร้าว	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลมะขามหลวง	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลแม่ก้า	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแม่	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งสะโตก	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งด้อม	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำบ่อหลวง	สันป่าตอง
องค์การบริหารส่วนตำบลหางดง	หางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลหารแก้ว	หางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลขุนคง	หางดง

องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแหวน	ทางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลสันผักหวาน	ทางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลหนองควาย	ทางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านปาง	ทางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลน้ำแพร่	ทางดง
องค์การบริหารส่วนตำบลดอยหล่อ	ดอยหล่อ
องค์การบริหารส่วนตำบลสองแคว	ดอยหล่อ
องค์การบริหารส่วนตำบลยางคราม	ดอยหล่อ
องค์การบริหารส่วนตำบลสันติสุข	ดอยหล่อ

โดยปัจจุบันในการดำเนินการกำจัดขยะนั้น องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นแต่ละแห่งมีอำนาจในการตัดสินใจเองว่าจะกำจัดขยะในเขตพื้นที่ของตนเองแบบไหน ทั้งในรูปแบบของการดำเนินงานเองหรือเปิดให้เอกชนเข้ามาลงทุนภายใต้ระบบสัมปทาน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549)

โดยรูปแบบของสัญญาสัมปทานในการมีส่วนร่วมของภาคเอกชนในการจัดการขยะสามารถจัดตั้งได้ 6 รูปแบบดังตารางที่ 2.19

ตารางที่ 2.19 รูปแบบของสัญญาสัมปทานในการมีส่วนร่วมของภาคเอกชนในการจัดการขยะ

รูปแบบสัญญาสัมปทาน	เงื่อนไข
1. BOT (Build, Operate, Transfer)	เป็นสัญญาที่เอกชนรับผิดชอบการก่อสร้าง และบริหารจัดการระบบสาธารณูปโภคใหม่ โดยโอนความเป็นเจ้าของให้รัฐเมื่อสิ้นสุดอายุสัญญา เช่น โครงการกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครลำปาง โครงการรถไฟฟ้าบีทีเอสโครงการประปาปทุมธานี-รังสิต เป็นต้น
2. BOO (Build, Own, Operate)	เป็นสัญญาที่เอกชนไม่ต้องโอนกรรมสิทธิ์ระบบสาธารณูปโภคให้กับรัฐ แต่รัฐให้สัญญาว่าจะรับซื้อสินค้าและบริการในช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น โครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก โครงการผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ เป็นต้น
3. BOOT (Build, Own, Operate)	เอกชนที่สร้างและบริหารจัดการระบบสาธารณูปโภค ซึ่งเป็น

Operate, Transfer)	กรรมสิทธิ์ของเอกชนไปตลอดอายุสัญญา โดยโอนกรรมสิทธิ์ให้รัฐเมื่อหมดสัญญา
4. BLO (Build, Lease, Own)	เอกชนสร้างโครงสร้างพื้นฐานใหม่และเช่าระบบสาธารณูปโภคจากรัฐ เมื่อดำเนินงานจนครบอายุสัญญา กรรมสิทธิ์ในโครงสร้างพื้นฐานจะถูกโอนเป็นของเอกชน
5. BLOT (Build, Lease, Operate, Transfer)	เอกชนมีหน้าที่สร้างโครงสร้างพื้นฐานใหม่จากนั้นเช่าโครงสร้างพื้นฐานนั้นจากรัฐเพื่อบริหารจัดการ และโอนกรรมสิทธิ์ให้รัฐเมื่อสิ้นสุดสัญญา
6. ROT (Rehabilitate, Operate, Transfer)	เป็นสัญญาที่เอกชนมีหน้าที่ซ่อมแซมระบบสาธารณูปโภคเดิมที่มีอยู่แล้วให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ รวมถึงจัดการบริหารและบำรุงรักษา โครงสร้างพื้นฐานในช่วงระยะเวลาตามสัญญา โดยโอนกรรมสิทธิ์กลับเป็นของรัฐเมื่อสิ้นสุดอายุสัมปทาน

2.6.1 ปริมาณและส่วนประกอบของขยะในพื้นที่เขตใต้ จังหวัดเชียงใหม่

ในการผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอย สิ่งแรกที่ต้องพิจารณาคือ ข้อมูลของปริมาณขยะซึ่งจะถูกมาใช้ในการประมาณการขนาดของระบบผลิตพลังงาน โดยจากข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดังกล่าวมาแล้วนั้นประกอบกับความหลากหลายทั้งในด้านของงบประมาณ และขนาดของพื้นที่ในความรับผิดชอบ ดังนั้นข้อมูลปริมาณของขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ จึงไม่ได้ถูกตรวจวัดในทุกพื้นที่ จะมีเพียงเทศบาลใหญ่ ๆ เท่านั้นที่จะมีการชั่งน้ำหนักและเก็บข้อมูลของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลให้การประมาณปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจริงนั้นต้องใช้การคาดการจากความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรในพื้นที่และอัตราการเกิดขยะดังสมการที่ 2.16

$$T_{msw} = (P \times R_{msw})/1000 \quad (2.16)$$

โดย T_{msw} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยรวม (ตัน/วัน)

P คือ จำนวนประชากร (คน)

R_{msw} คือ อัตราการเกิดขยะ (กิโลกรัม/คน/วัน)

จากสมการการหาปริมาณขยะที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษาจะประกอบไปด้วยประชากรในระบบทะเบียนราษฎรร่วมกับประชากรแฝงและนักท่องเที่ยว จากรายงานโครงการปรับปรุงและศึกษาระบบบริหารจัดการศูนย์กำจัดขยะ โชนใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ ระบุให้อัตราการเกิดขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลมีค่า 0.835 กิโลกรัม/คน/วัน จะสามารถคาดการณ์ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 2.20

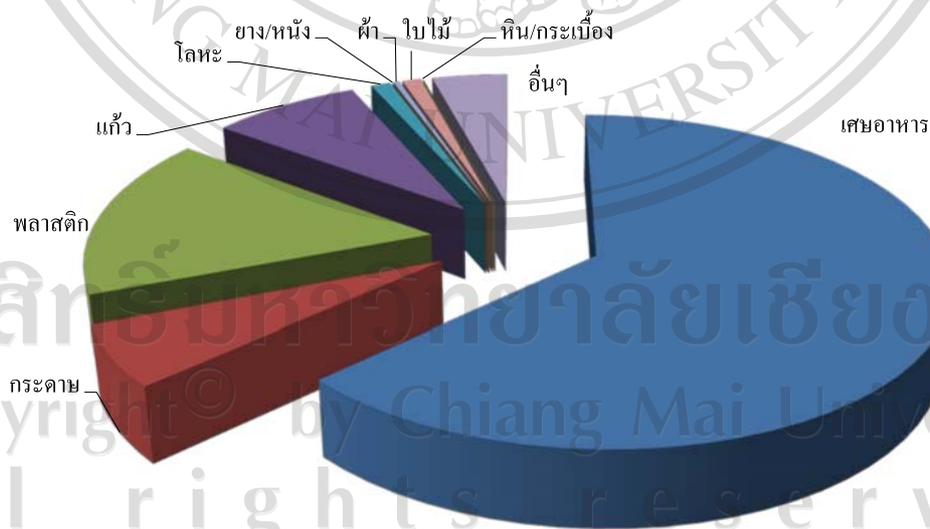
ตารางที่ 2.20 จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษาและปริมาณขยะที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ปี พ.ศ.	ประชากร (คน)	ประชากรแฝง (คน)	นักท่องเที่ยว (คน)	ประชากรทั้งหมด (คน)	ปริมาณขยะ (ตัน/วัน)
2550	383,700	115,110	12,560	511,370	427
2551	387,752	116,326	12,877	516,955	432
2552	391,805	117,542	13,193	522,540	436
2553	395,858	118,757	13,509	528,124	441
2554	399,910	119,973	13,825	533,708	446
2555	403,963	121,189	14,141	539,293	450
2556	408,016	122,405	14,457	544,878	455
2557	412,069	123,621	14,773	550,463	460
2558	412,121	124,837	15,089	552,047	461
2559	420,174	126,052	15,405	561,631	469
2560	424,227	127,268	15,721	567,216	474
2561	428,279	128,484	16,038	572,801	478
2562	432,332	129,700	16,354	578,386	483
2563	436,385	130,916	16,670	583,971	488
2564	440,437	132,131	16,986	589,554	492
2565	444,490	133,347	17,302	595,139	497
2566	448,543	134,563	17,618	600,724	502
2567	452,596	135,779	17,934	606,309	506
2568	456,648	136,995	18,250	611,893	511
2569	460,701	138,210	18,566	617,477	516
2570	464,754	139,426	18,882	623,062	520
2571	468,806	140,642	19,198	628,646	525

2572	472,859	141,858	19,515	634,232	530
2573	476,912	143,074	19,831	639,817	534
2574	480,965	144,290	20,147	645,402	539
2575	485,017	145,505	20,463	650,985	544

2.6.1.1 ส่วนประกอบของขยะมูลฝอยในพื้นที่เขตใต้

นอกจากปริมาณของขยะแล้ว ปัจจัยอีกส่วนหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการผลิตพลังงานคือส่วนประกอบต่างๆในขยะมูลฝอย สำหรับพื้นที่ศึกษานี้ข้อมูลของส่วนประกอบขยะจะพบว่ามี การตรวจวัดเพียงส่วนประกอบของขยะในพื้นที่ของเทศบาลนครเชียงใหม่เท่านั้น ซึ่งเป็นพื้นที่ ๆ มีปริมาณของขยะมากกว่า 50% ของปริมาณของขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะใช้ส่วนประกอบของขยะในพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่เป็นตัวแทนของส่วนประกอบของขยะทั้งหมดในพื้นที่เขตใต้ โดยอ้างอิงข้อมูลส่วนประกอบจากการศึกษาของ มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน จากข้อมูลที่ได้พบว่าสัดส่วนของขยะในพื้นที่เขตใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับสัดส่วนของขยะทั่วประเทศ คือ เศษอาหารมีสัดส่วนที่มากที่สุด รองลงมาคือพลาสติก ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สัดส่วนของขยะในพื้นที่เขตใต้ของจังหวัดเชียงใหม่

2.7 การประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงาน

2.7.1 การวิเคราะห์พลังงานของเทคโนโลยีเตาเผา

หลังจากที่ได้ค่าปริมาณขยะและส่วนประกอบของขยะในหัวข้อ 2.6 แล้ว ในหัวข้อนี้จะทำพิจารณาค่าความร้อนของขยะซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งในการ วิเคราะห์พลังงานของเทคโนโลยีเตาเผา จากนั้นจะนำมาคำนวณเพื่อหาขนาดของโรงไฟฟ้าโดยตัวแปรต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.17

$$MW_{Inc} = S_{msw} \times Q_{msw} \times (1 \text{ วัน}/86,400) \times (1,000 \text{ กิโลกรัม}/1 \text{ ตัน}) \times Eff_{Inc} \quad (2.17)$$

เมื่อ	MW_{Inc}	คือ	ขนาดของโรงไฟฟ้า (MW)
	S_{msw}	คือ	อัตราการขยะมูลฝอยที่เข้าระบบ (ตัน/วัน)
	Q_{msw}	คือ	ค่าความร้อนของขยะมูลฝอย (MJ/kg)
	Eff_{Inc}	คือ	ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีเตาเผา (%)

สำหรับค่าความร้อนของขยะในพื้นที่เขตใต้จังหวัดเชียงใหม่ มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนของขยะของเทศบาลนครเชียงใหม่โดยใช้ Bomb Calories Meter รายละเอียดดังตารางที่ 2.21 ส่วนในพื้นที่อื่น ๆ ของเขตใต้ไม่ได้มีการตรวจสอบค่าความร้อนแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามจากปริมาณของขยะในพื้นที่เขตใต้จากหัวข้อ 2.6.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณของขยะจากเทศบาลนครเชียงใหม่มีสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 50 ของขยะทั้งหมด ดังนั้นในการวิจัยนี้จะใช้ค่าความร้อนของขยะจากเทศบาลนครเชียงใหม่เป็นค่าความร้อนเฉลี่ยของขยะทั้งหมดในพื้นที่เขตใต้

ตารางที่ 2.21 ค่าความร้อนของขยะในพื้นที่เขตใต้จังหวัดเชียงใหม่

พื้นที่ทำการวิเคราะห์	Moisture Content (%mc)	Total Solid (%TS)	Volatile Solid (%VS)	ค่าความร้อน(MJ/kg)		
				Dry Heating Value	Higher Heating Value	Lower Heating Value
เทศบาลนครเชียงใหม่	67.60	32.40	86.86	27.85	9.02	7.71

จากการใช้การหาค่าความร้อนด้วย Bomb Calories Meter จะได้ค่า Dry Heating Value ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงค่าความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อนำขยะแห้งจำนวน 1 กิโลกรัมมาเผา แต่ในการผลิตไฟฟ้าจากขยะ ขยะที่โรงไฟฟ้าได้รับมาจะอยู่ในรูปขยะรวมที่มีความชื้นปนอยู่ด้วยจึงจำเป็นที่จะต้องประมาณหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) ซึ่งเป็นค่าความร้อนของขยะรวม 1 กิโลกรัมที่ถูกทำให้แห้งปล่อยออกมาเมื่อถูกนำมาเผาไหม้ และค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value) ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ขยะที่ยังคงมีความชื้นปนอยู่ ซึ่งค่าความร้อนต่ำนี้เป็นค่าความร้อนก่อนเข้าเตาเผาซึ่งจะช่วยให้ในการประเมินพลังงานที่โรงไฟฟ้าสามารถผลิตได้ต่อไป โดยค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.18 และ 2.19

$$\text{HSCV} = [\text{DSCV} * \text{TS}] / 100 \quad (2.18)$$

$$\text{LSCV} = [\text{HSCV} - 600(9 * (\text{VS} / 15)) - \text{mc}] / 100 \quad (2.19)$$

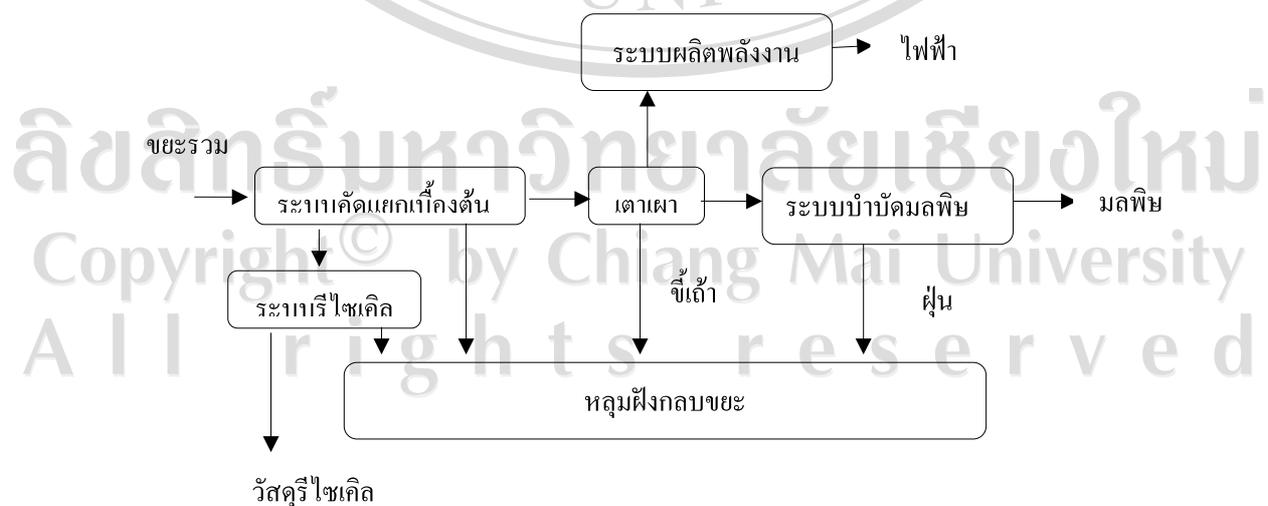
2.7.1.2 การประเมินขนาดของโรงไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีเตาเผา

ในการวิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเตาเผาในพื้นที่เขตใต้จังหวัดเชียงใหม่ โรงไฟฟ้านี้จะทำการก่อสร้างเป็นระยะเวลา 2 ปี คือ ปี 2553 และ 2554 จากนั้นจะเริ่มรับขยะและผลิตไฟฟ้าได้ในปี 2555 ซึ่งมีปริมาณขยะอยู่ที่ 450 ตัน/วัน จากนั้นจะผลิตไฟฟ้าไปอีก 20 ปี สำหรับขนาดของโรงไฟฟ้าจะพิจารณาจากปริมาณของขยะในปีฐานคือ 450 ตัน/วัน ขยะที่เกินขนาดของระบบจะถูกคัดแยกวัสดุรีไซเคิลและถูกนำไปฝังกลบ โดยมีสมมติฐานดังตารางที่ 2.22 ตารางที่ 2.22 สมมติฐานในการวิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีเตาเผา

สมมติฐาน		หน่วย	หมายเหตุ
ขยะรวม	450	ตัน/วัน	อ้างอิงจากโครงการปรับปรุงแบบและศึกษาระบบบริหารจัดการศูนย์กำจัดขยะ โชนใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ (หน้า 5-1-5)
สัดส่วนการรีไซเคิลพลาสติก	6.49	% ของพลาสติก	คัดแยก PP แบบขวด, PET, HDPE แบบขวด, LDPE แบบขวด
สัดส่วนการรีไซเคิลโลหะ	53.21	% ของโลหะ	คัดแยก อลูมิเนียม
รวมขยะรีไซเคิลที่ถูกคัดออก	7.55	ตัน/วัน	
ขยะที่ถูกคัดออกไปฝังกลบ	57.69	ตัน/วัน	

ขยะที่สามารถที่เหลือจากการคัดแยก และพร้อมเข้าสู่เตาเผา	352	ตัน/วัน	ข้อมูลองค์ประกอบขยะจากหัวข้อ 2.6 โดยคัดแยกแก้ว, โลหะ, พลาสติกส่วนที่รีไซเคิลได้, หิน/กระเบื้อง และอื่น ๆ ออกไป
ค่าความร้อนของขยะ	7.71	MJ/kg	มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน (หน้า 15) เป็นการนำขยะเทศบาลไปเข้า bomb โดยคัดแยกส่วนเผาไหม้ไม่ได้ ออก
จี๊เอ๊าที่เกิดจากเตาเผา	88	ตัน/วัน	
ฝุ่นที่ดักจับได้ในระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ	12	ตัน/วัน	
ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าโดยรวม	25	%	Perinaz Bhada (Mumbi หน้า 62) เตาเผา moving grate และ steam turbine
จำนวนวันทำการ	330	วัน/ปี	อ้างอิงจาก พพ คิดเป็นชั่วโมงทำงาน 7,920 ชั่วโมงต่อปี (24 ชั่วโมงต่อวัน)

จากสมการที่ 2.14 สามารถคำนวณขนาดของโรงไฟฟ้าออกมาได้ขนาด 7.86 MW โดยขนาดของระบบผลิตพลังงานที่เหมาะสมในท้องตลาดคือ 7.5 MW หรือคิดเป็นปริมาณไฟฟ้าประมาณ 59.4 ล้านkWh/ปี โดยแผนภูมิในการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 และ ปริมาณขยะที่เข้าสู่ระบบในปีต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.23



รูปที่ 2.18 การผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผา

2.7.2 การวิเคราะห์พลังงานของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

จากหัวข้อ 2.4 แสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นจะใช้เฉพาะขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เท่านั้น ซึ่งประกอบกับข้อมูลใน 2.6 ทำให้สามารถประเมินขยะที่จะเข้าสู่ระบบได้ แต่ด้วยความหลากหลายของเทคโนโลยีระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้ก๊าซชีวภาพที่ได้มีอัตราการเกิดที่แตกต่างกันไป

ในการ ประเมินการเกิด ก๊าซชีวภาพ สำหรับขยะมูลฝอยของพื้นที่เขตใต้ นั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะและส่วนประกอบของขยะอินทรีย์ รวมถึงเทคโนโลยีที่หลากหลายของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงเป็นการยากที่จะระบุไปอย่างชัดเจนได้ว่า ขยะจากพื้นที่เขตใต้เมื่อถูกนำเข้าสู่ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้วจะผลิตก๊าซชีวภาพ ได้ปริมาณมากน้อยเพียงใด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ปริมาณของก๊าซที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยที่ได้มาจากการรวบรวมข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงในโรงไฟฟ้า หลังจากนั้นจะทำการ การ วิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักขยะอินทรีย์ ปริมาณของขยะที่เข้าสู่ระบบ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบ โดยค่าต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.18

$$MW_{AD} = Q_{Biogas} \times B_{AD} \times (R_{msw} \times (1 \text{ วัน}/86,400 \text{ วินาที})) \times EFF_{AD} \quad (2.18)$$

เมื่อ	MW_{AD}	คือ	ขนาดของโรงไฟฟ้า(MW)
	Q_{Biogas}	คือ	ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (MJ/m^3)
	B_{AD}	คือ	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักขยะอินทรีย์ (m^3/ton)
	R_{msw}	คือ	อัตราการขยะมูลฝอยที่เข้าระบบ (ตัน/วัน)
	EFF_{AD}	คือ	ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (%)

2.7.2.1 การเกิดก๊าซชีวภาพสำหรับขยะมูลฝอยของพื้นที่เขตใต้

ในการรวบรวมข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจริงในโรงไฟฟ้า พบว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะมีที่ตั้งอยู่ในประเทศกลุ่มยุโรป

รายงานฉบับแรกเป็นการตอบแบบสอบถามจากโรงไฟฟ้าจากขยะที่ใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจำนวน 60 โรงในกลุ่มประเทศยุโรปซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.23

ตารางที่ 2.24 รายละเอียดของโรงไฟฟ้าที่ตอบแบบสอบถามจำนวน 60 โรงในกลุ่มประเทศยุโรป
(Nova Energie GmbH and Resource Development Association, 2004)

สถานที่	ประเภทขยะอินทรีย์	ปริมาณขยะต่อปี (ตัน/ปี)	ความจุของบ่อหมัก (Ft ³)	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (Ft ³)	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (Ft ³ /ตัน)	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /ตัน)
Aarburg	Yard	12,128	52,973	28,605,150	2,359	66.80
Baar	Yard	4,410	16,951	13,419,700	3,043	86.17
Bachenbülach	Yard & Food	9,482	18,364	30,017,750	3,166	89.65
Baden-Baden	Food & Kitchen	7,166	211,890	51,206,750	7,146	202.35
Braunschweig	Kitchen	17,640	59,329	60,035,500	3,403	96.36
Buchen	MSW	110,250	141,260	141,260,000	1,281	36.27
Geneva	Yard	13,230	35,315	42,378,000	3,203	90.70
Grindsted	Biosolids & Food	38,036	98,882	22,954,750	603	17.08
Holsworthy	Manure & Food	160,965	282,520	137,728,500	856	24.24
Karlsruhe	Yard & Kitchen	8,820	47,675	30,935,940	3,507	99.31
Lemgo	Yard & Kitchen	37,485	90,053	134,197,000	3,580	101.37
München	Yard & Kitchen	27,563	84,050	52,972,500	1,922	54.42
Niederuzwil	Yard	11,025	31,784	30,724,050	2,787	78.92
Otelfingen	Yard	13,781	29,665	38,846,500	2,819	79.83
Rümlang	Yard & Food	7,718	16,245	28,252,000	3,661	103.67
Samstagern	Yard & Food	8,489	18,364	28,958,300	3,411	96.59
Average		30,512	77,207	54,530,774	2,922	82.74

รายงานฉบับที่ 2 เป็นการสอบถามไปยังเจ้าของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.25

ตารางที่ 2.25 ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของบริษัทต่าง ๆ (University of California, Davis, 2008)

เจ้าของเทคโนโลยี	สถานที่	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ(m ³ /ตัน)
Valorga	France	144
	Netherlands	93
	Germany	127
Valorga	Italy	180
	Italy	60
	France	145
	Netherlands	92
	Germany	126
Dranco	Germany	147
	Belgium	103
	Austria	135
BTA	Germany	92
Kompogas	Switzerland	90
ISKA	Germany	40
	เฉลี่ย	112

รายงานฉบับที่ 3 เป็นการรวบรวมข้อมูลจากบริษัทเจ้าของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังตารางที่ 2.26

ตารางที่ 2.26 ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของบริษัทต่าง ๆ (Karena Ostrem, 2004)

บริษัทเจ้าของเทคโนโลยี	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /ตัน)	เฉลี่ย
BTA	80-120	100
Valorga	80-160	120
WAASA	100-150	125

DRANCO	100-200	150
Linde	100	100
Kompogas	130	130
		121

จากรายงานทั้ง 3 ฉบับจะหาค่าเฉลี่ยการเกิดก๊าซชีวภาพต่อตันของขยะอินทรีย์ที่เข้าระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้เฉลี่ย 105 m³ต่อตันของขยะอินทรีย์ที่เข้าระบบแสดงดังตารางที่ 2.27

ตารางที่ 2.27 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

งานวิจัย	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /ตัน)		
	Minimum	Maximum	Average
Iowa Department of Natural Resources	17.08	202.35	82.74
California Environmental Protection Agency	40	180	112
Columbia University	100	150	121
เฉลี่ย			105

2.7.2.2 การประเมินขนาดของโรงไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในการวิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในพื้นที่เขตใต้จังหวัดเชียงใหม่จะทำการก่อสร้างเป็นระยะเวลา 2 ปี คือ ปี 2553 และ 2554 จากนั้นจะเริ่มรับขยะและผลิตไฟฟ้าได้ในปี 2555 ซึ่งมีปริมาณขยะอยู่ที่ 450 ตัน/วัน จากนั้นจะผลิตไฟฟ้าไปอีก 20 ปี สำหรับขนาดของโรงไฟฟ้าจะพิจารณาจากปริมาณของขยะในปริมาณคือ 450 ตัน/วัน ขยะที่เกิดขึ้นขนาดของระบบจะถูกคัดแยกวัสดุรีไซเคิลและถูกนำไปฝังกลบมีสมมติฐานดังตารางที่ 2.27

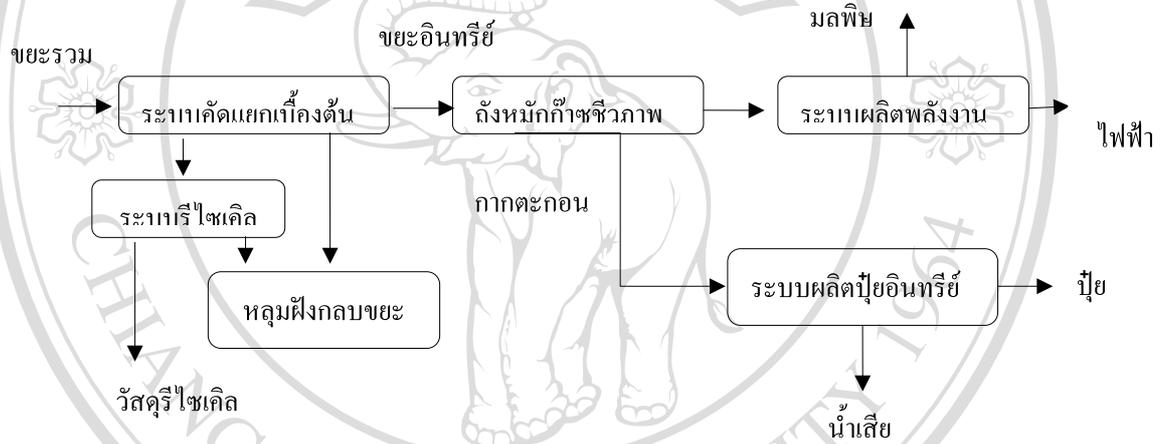
ตารางที่ 2.28 สมมติฐานในการวิเคราะห์ขนาดของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สมมติฐาน		หน่วย	หมายเหตุ
ขยะรวม	450	ตัน/วัน	ข้อมูลปริมาณขยะจากหัวข้อ 2.7
ขยะรีไซเคิล	8	ตัน/วัน	คัดแยกพลาสติก PP แบบขวด, PET, HDPE แบบขวด, LDPE แบบขวด และคัดแยก อลูมิเนียม
ขยะที่ถูกแยกไปหลุมฝังกลบ	127	ตัน/วัน	พลาสติกที่รีไซเคิลไม่ได้, แก้ว, โลหะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้, เศษผ้า, หิน, กระเบื้องและอื่น ๆ
ขยะอินทรีย์ที่เข้าระบบถังหมัก	316	ตัน/วัน	ข้อมูลองค์ประกอบขยะจากหัวข้อ 2.8 โดยคัดแยกเฉพาะเศษอาหาร กระดาษและใบไม้เท่านั้น
กากที่เหลือจากถังหมัก	300	ตัน/วัน	คิดเป็นน้ำหนัก 95% ของสารที่เข้าสู่ถังหมัก (Chaya)
ปุ๋ยที่ผลิตได้จากกาก	45	ตัน/วัน	คิดเป็น 15% ของน้ำหนักกาก(Chaya)
น้ำเสียในขั้นตอนการผลิตปุ๋ย	255	ตัน/วัน	คิดเป็น 85% ของน้ำหนักกาก(Chaya)
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ	105	m ³ /ตัน	จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 2.34.
ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ	21.54	MJ/m ³	ใช้ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทน 60% โดยปริมาตร
ความพร้อมจ่ายของก๊าซ	8,100	ชั่วโมง/ปี	อ้างอิง กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน	35	%	

จากสมการที่ 2.35 สามารถคำนวณขนาดของโรงไฟฟ้าออกมาได้ขนาด 2.89 MW และเมื่อพิจารณาขนาดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมในท้องถิ่นคือ 2.425 MW หรือคิดเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ประมาณ 19.6 ล้าน kWh/ปี โดยแผนภูมิในการผลิตไฟฟ้า ด้วยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงดังรูปที่ 2.19 และขยะที่เข้าสู่ระบบในปีต่าง ๆ แสดงได้ดังตาราง 2.29 โดยมีปริมาณดังนี้

$$MW_{AD} = (21.54 \text{ MJ/m}^3) \times (105 \text{ m}^3/\text{ton}) \times ((315 \text{ ton}/\text{วัน}) \times (1 \text{ วัน}/86,400 \text{ นาที})) \times (0.35)$$

$$MW_{AD} = 2.89 \text{ MW}$$



รูปที่ 2.19 การผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.7.3 การวิเคราะห์พลังงานของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ

ในการประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพ ที่จะเกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะ จะขึ้นอยู่กับลักษณะ และส่วนประกอบของขยะอินทรีย์ งานวิจัยนี้จะใช้การประมาณจาก Software ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักขยะอินทรีย์ ปริมาณของขยะที่เข้าสู่ระบบ ร้อยละของก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบ โดยค่าต่างๆ มีความสัมพันธ์กันดัง สมการที่ 2.19

$$MW_{LFG} = Q_{Biogas} \times B_{LFG} \times C_{LFG} \times ((1ปี/365วัน) \times (1วัน/86,400วินาที)) \times EFF_{LFG} \quad (2.19)$$

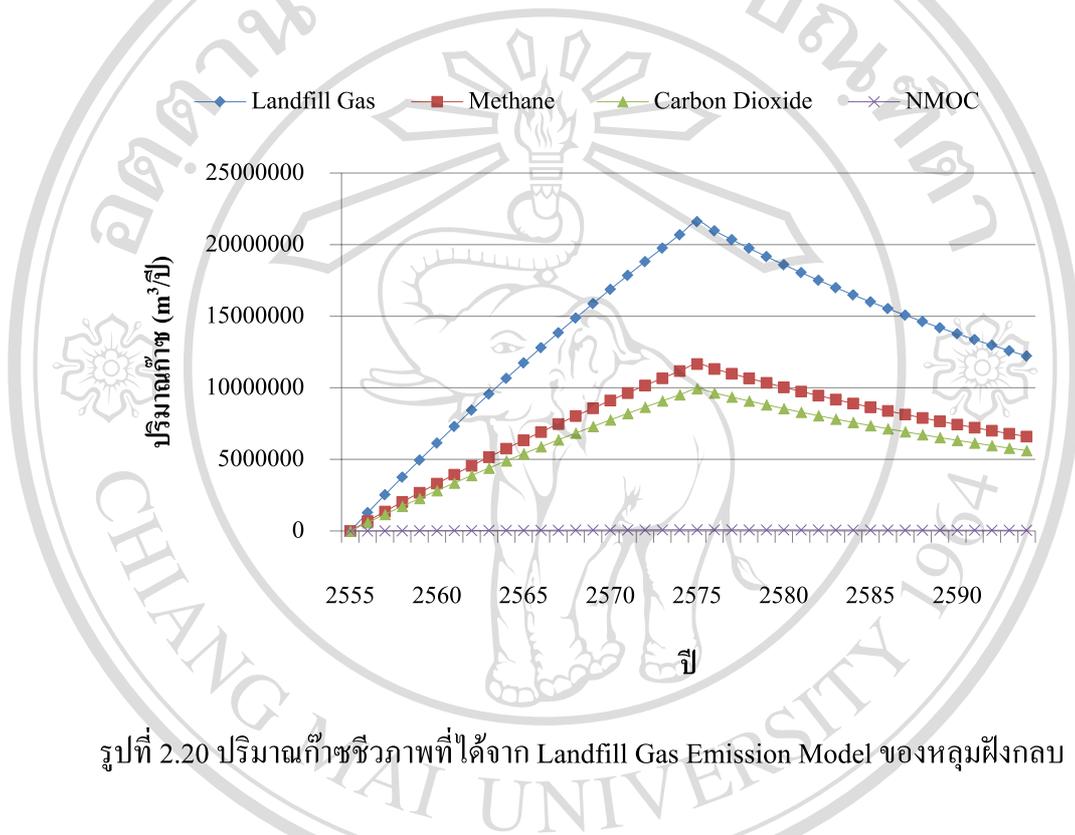
เมื่อ	MW_{LFG}	=	ขนาดของโรงไฟฟ้า(MW)
	Q_{Biogas}	=	ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (MJ/m ³)
	B_{LFG}	=	ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยในช่วงการผลิตไฟฟ้า (m ³ /ปี)
	C_{LFG}	=	ร้อยละของก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้ (%)
	Eff_{AD}	=	ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของ ก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้จากหลุม (%)

2.7.3.1 ผลการประเมินปริมาณของก๊าซชีวภาพได้จากหลุมฝังกลบขยะ

ในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินปริมาณของก๊าซชีวภาพโดยใช้ Landfill Gas Emission Model (LANDGEM) ซึ่งเป็น โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการเกิดก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบ ซึ่งได้มาจากการรวบรวมข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบจริงมากกว่า 150 แห่งโดยรายละเอียดของสมการที่ใช้ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.6.3 สำหรับสมมติฐานของการประมาณก๊าซชีวภาพมีดังนี้

การเริ่มต้นโครงการจะเป็นการเปิดหลุมฝังกลบขยะใหม่โดยไม่มีขยะมูลฝอยเดิมอยู่ก่อน และเริ่มทำการฝังกลบในปี 2555 ต่อเนื่องไปอีก 20 ปีจนกระทั่งทำการปิดหลุมฝังกลบปี 2574 โดยมีขยะเข้าสู่หลุมฝังกลบ 450 ตันในปี 2555 และเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีปริมาณ 539 ตัน/วันในปี 2574 โดยตัวแปรที่ต้องให้ในโปรแกรมจะประกอบไปด้วย 1. ปริมาณขยะตลอดอายุโครงการซึ่งได้มาจากการประมาณปริมาณขยะที่กล่าวมาแล้ว 2. ค่า Methane Generation Potential(L₀) ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกถึงส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในเนื้อขยะจะมีค่าอยู่ระหว่าง 96-170 m³/ตัน โดยงานวิจัยนี้จะอ้างอิงค่าจากงานวิจัยของ(Chart, 2007) ซึ่งมีค่า 155.9 m³/ตัน 3. ค่า Methane Generation Rate Constant

(k) ซึ่งเป็นค่าที่รวมปัจจัยในส่วนของความชื้นในชั้นดินของหลุมฝังกลบ, สารอาหารในหลุมฝังกลบ, ค่า Ph ของขยะ, อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของหลุมฝังกลบซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0.05-0.7 \text{ year}^{-1}$ โดยงานวิจัยนี้จะอ้างอิงค่าจากงานวิจัยของ (Chart, 2007) ซึ่งมีค่าที่ 0.03 year^{-1} ค่าที่ใช้ในการอ้างอิงทั้ง 2 ค่านี้เป็นค่าที่ปรับให้เหมาะสมกับประเทศไทยแล้ว โดยผลที่ได้จาก Landfill Gas Emission Model แสดงได้ดังรูปที่ 2.20

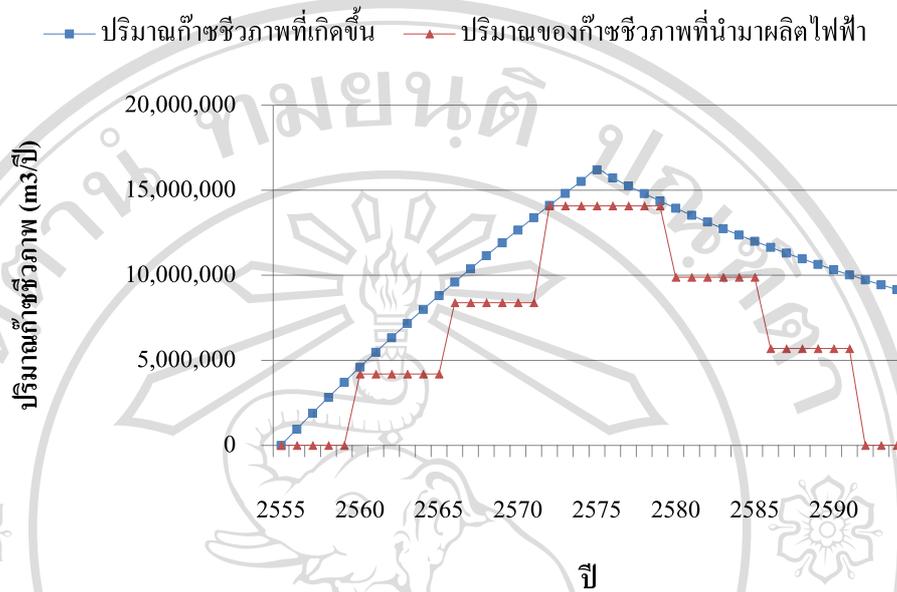


รูปที่ 2.20 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จาก Landfill Gas Emission Model ของหลุมฝังกลบ

2.7.2 การประเมินขนาดของโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะ

จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณไม่เท่ากันในแต่ละปี ในงานวิจัยนี้จะจำลองรูปแบบของการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตพลังงาน โดยกำหนดให้ติดตั้งระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพตั้งแต่ปีแรกของการดำเนินการฝังกลบขยะ จากนั้นจะทำการเริ่มติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าขึ้นในปีที่ 5 (พ.ศ. 2560) โดยจะใช้ระบบเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ขนาดผลิตไฟฟ้าได้ 834 kW ใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพ $479 \text{ m}^3/\text{ชั่วโมง}$ หรือ $4.2 \text{ ล้าน m}^3/\text{ปี}$ โดยเครื่องยนต์ตัวนี้อายุการใช้งาน 20 ปี จากนั้นในปี พ.ศ. 2566 ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ขนาด 834 kW อีก 1 ชุดเนื่องจากมีปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าเพิ่ม จากนั้นปี พ.ศ. 2572 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียุทธการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด จะทำการติดตั้งเครื่องยนต์ขนาด 1,131 kW จำนวน

1 ชุด ซึ่งจะใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 650 m³/ชั่วโมง หรือ 5.7 ล้านm³/ปี โดยลักษณะของการรวบรวมก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.21 และมีสมมติฐานดังตารางที่ 2.30

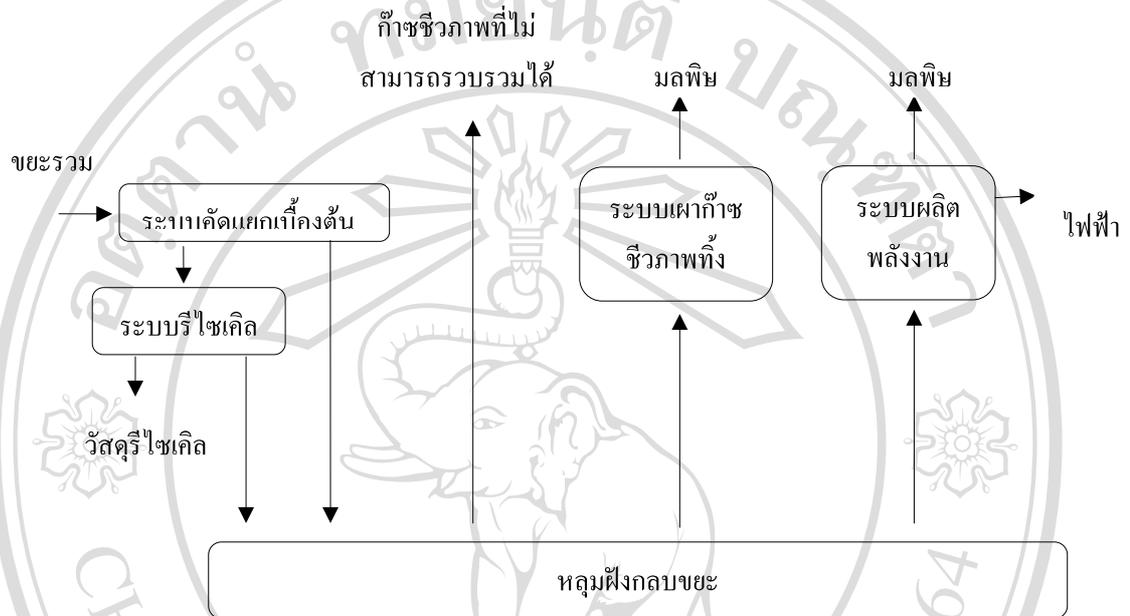


รูปที่ 2.21 การรวบรวมก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าของหลุมฝังกลบขยะ

ตารางที่ 2.30 สมมติฐานในการประเมินพลังงานที่ผลิตได้ของการฝังกลบ

สมมติฐาน		หน่วย	หมายเหตุ
ขยะรวม	450	ตัน/วัน	ข้อมูลปริมาณขยะจากหัวข้อ 2.7
ประสิทธิภาพในการรวบรวมก๊าซ	75	%	
ปีที่ทำการผลิตไฟฟ้า			
ช่วงที่ 1 พ.ศ. 2560 - พ.ศ.2579	2560-2590	834 kw	
ช่วงที่ 2 พ.ศ. 2566 - พ.ศ.2585		834 kw	
ช่วงที่ 3 พ.ศ. 2572 - พ.ศ.2590		1,131 kw	
ค่าความร้อนก๊าซชีวภาพ	19.37	MJ/m ³	ใช้ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทน 54 % โดยปริมาตร
ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน	35	%	อ้างอิงจากข้อมูลของบริษัท S.D. Machinery (Southeast asia) CO., Ltd.

โดยแผนภูมิในการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 และ ปริมาณขยะที่เข้าสู่ระบบในปีต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.31



รูปที่ 2.22 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบขยะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.31 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและการนำไปใช้ประโยชน์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2574

พศ	Year	Landfill gas (m ³ /year)	รวมรวม ได้ 75%	LFG Flow (m ³ /hr)	ใช้ก๊าซ 0.834 MW	ใช้ก๊าซ 0.834 MW	ใช้ก๊าซ 1.131MW	รวมใช้ก๊าซ ผลิตไฟฟ้า	เหลือ เผาทิ้ง	ออกสู่ บรรยากาศ
2553	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2554	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2555	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2556	2013	1.277E+06	957,634	109	0	0	0	0	957,634	319,211
2557	2014	2.529E+06	1,896,883	217	0	0	0	0	1,896,883	632,294
2558	2015	3.758E+06	2,818,290	322	0	0	0	0	2,818,290	939,430
2559	2016	4.954E+06	3,715,278	424	0	0	0	0	3,715,278	1,238,426
2560	2017	6.137E+06	4,602,775	525	4,195,600	0	0	4,195,600	407,175	1,534,258
2561	2018	7.299E+06	5,473,960	625	4,195,600	0	0	4,195,600	1,278,360	1,824,653
2562	2019	8.439E+06	6,329,314	723	4,195,600	0	0	4,195,600	2,133,714	2,109,771
2563	2020	9.559E+06	7,169,307	818	4,195,600	0	0	4,195,600	2,973,707	2,389,769
2564	2021	1.066E+07	7,994,391	913	4,195,600	0	0	4,195,600	3,798,791	2,664,797
2565	2022	1.174E+07	8,805,005	1,005	4,195,600	0	0	4,195,600	4,609,404	2,935,002
2566	2023	1.280E+07	9,601,578	1,096	4,195,600	4,195,600	4,195,600	8,391,200	1,210,378	3,200,526
2567	2024	1.385E+07	10,384,527	1,185	4,195,600	4,195,600	4,195,600	8,391,200	1,993,326	3,461,509
2568	2025	1.487E+07	11,154,253	1,273	4,195,600	4,195,600	4,195,600	8,391,200	2,763,053	3,718,084
2569	2026	1.588E+07	11,911,146	1,360	4,195,600	4,195,600	4,195,600	8,391,200	3,519,946	3,970,382
2570	2027	1.687E+07	12,655,585	1,445	4,195,600	4,195,600	4,195,600	8,391,200	4,264,385	4,218,528
2571	2028	1.785E+07	13,387,940	1,528	4,195,600	4,195,600	4,195,600	8,391,200	4,996,740	4,462,647
2572	2029	1.881E+07	14,108,567	1,611	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	27,650	4,702,856
2573	2030	1.976E+07	14,817,814	1,692	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	736,898	4,939,271

2574	2031	2.069E+07	15,516,018	1,771	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	1,435,101	5,172,006
2575	2032	2.160E+07	16,203,504	1,850	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	2,122,588	5,401,168
2576	2033	2.097E+07	15,724,618	1,795	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	1,643,702	5,241,539
2577	2034	2.035E+07	15,259,886	1,742	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	1,178,969	5,086,629
2578	2035	1.975E+07	14,808,888	1,691	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	727,971	4,936,296
2579	2036	1.916E+07	14,371,219	1,641	4,195,600	4,195,600	5,689,717	14,080,917	290,302	4,790,406
2580	2037	18,595,314	13,946,485	1,592	0	4,195,600	5,689,717	9,885,317	4,061,169	4,648,828
2581	2038	18,045,739	13,534,304	1,545	0	4,195,600	5,689,717	9,885,317	3,648,988	4,511,435
2582	2039	17,512,407	13,134,305	1,499	0	4,195,600	5,689,717	9,885,317	3,248,989	4,378,102
2583	2040	16,994,837	12,746,128	1,455	0	4,195,600	5,689,717	9,885,317	2,860,811	4,248,709
2584	2041	16,492,564	12,369,423	1,412	0	4,195,600	5,689,717	9,885,317	2,484,106	4,123,141
2585	2042	16,005,135	12,003,851	1,370	0	4,195,600	5,689,717	9,885,317	2,118,535	4,001,284
2586	2043	15,532,112	11,649,084	1,330	0	0	5,689,717	5,689,717	5,959,367	3,883,028
2587	2044	15,073,068	11,304,801	1,291	0	0	5,689,717	5,689,717	5,615,085	3,768,267
2588	2045	14,627,592	10,970,694	1,252	0	0	5,689,717	5,689,717	5,280,977	3,656,898
2589	2046	14,195,281	10,646,461	1,215	0	0	5,689,717	5,689,717	4,956,744	3,548,820
2590	2047	13,775,747	10,331,810	1,179	0	0	5,689,717	5,689,717	4,642,094	3,443,937
2591	2048	13,368,612	10,026,459	1,145	0	0	5,689,717	5,689,717	4,336,743	3,342,153
2592	2049	12,973,510	9,730,133	1,111	0	0	0	0	9,730,133	3,243,378
2593	2050	12,590,085	9,442,564	1,078	0	0	0	0	9,442,564	3,147,521
2594	2051	12,217,992	9,163,494	1,046	0	0	0	0	9,163,494	3,054,498

2.8 สรุปผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตพลังงานของขยะในพื้นที่เขตใต้จังหวัดเชียงใหม่

จากองค์ประกอบของขยะ และปริมาณ ในพื้นที่ศึกษาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถนำมาประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงาน เมื่อมีปริมาณขยะเข้าระบบตั้งแต่ 450 ตัน/วันในปี พ.ศ.2555 และเพิ่มขึ้นเป็น 539 ตัน/วันในปี พ.ศ. 2574 หากนำมาผลิตพลังงานด้วยเทคโนโลยีทั้ง 3 ชนิดจะสามารถผลิตพลังงานได้แตกต่างกันไปโดยเทคโนโลยีเตาเผาจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดคือ 7.5 MW ส่วนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตไฟฟ้าได้ 2.4 MW และก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะจะแบ่งการผลิตพลังงานออกเป็น 3 ช่วงขนาดตั้งแต่ 834 kW ถึง 1,131 kW ดังตารางที่ 2.32 โดยขนาดของโรงไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยไฟฟ้าซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 3 รวมถึงเงินลงทุนในโครงการ และรายรับที่ได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งจะกล่าวไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

ตารางที่ 2.32 ศักยภาพในการผลิตพลังงานจากขยะในพื้นที่เขตใต้ของจังหวัดเชียงใหม่

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า	ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า (MW)		
เตาเผา	7.5		
การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	2.4		
ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ	ช่วง 1	ช่วง 2	ช่วง 3
	834 kW	834 kW	1,131 kW