

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ขยะมูลฝอย

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ให้ความหมายว่า “ขยะมูลฝอย (Waste)” หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้ หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (Solid Waste) มีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจเนื่องจากความสกปรก เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคทำให้เกิดมลพิษและทัศนียภาพ

2.1.1 แหล่งกำเนิดของมูลฝอย

- 1) มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย (Residential Waste) เป็นมูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีพของคนที่พักอาศัยในบ้านพักอาศัยหรืออาคารชุด ได้แก่ เศษอาหาร เศษกระดาษ เศษพืชผัก ถูพลาสติก ขวดพลาสติก ใบไม้ใบหญ้า ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ชำรุดหรือเสื่อมคุณภาพ เฟอร์นิเจอร์เก่าที่ชำรุด เศษแก้ว ฯ
- 2) มูลฝอยจากธุรกิจการค้า (Commercial Waste) เป็นมูลฝอยที่มาจากสถานที่ที่มีการประกอบกิจการค้าขายส่ง ขายปลีก หรือการบริการทางการค้าต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นกิจการค้าประเภทใด ได้แก่ ตลาด ร้านขายอาหาร ร้านขายของชำ อาคารสำนักงาน โรงแรม เป็นต้น ซึ่งมักจะมีภาชนะเก็บมูลฝอยเป็นของตนเอง มูลฝอยที่เกิดขึ้นอาจมีเศษอาหาร เศษแก้ว พลาสติก เศษวัสดุสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หรืออาจมีของเสียอันตราย
- 3) มูลฝอยจากการเกษตร (Agriculture Waste) ซึ่งมักมาจากกิจกรรมการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาหาร ประกอบด้วย มูลสัตว์ เศษหญ้า เศษพืช ภาชนะบรรจุยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น
- 4) มูลฝอยจากการพักผ่อนหย่อนใจ (Recreational Wastes) ส่วนใหญ่จะเป็นมูลฝอยประเภท เศษอาหาร เศษวัสดุบรรจุภัณฑ์ทั้งหลาย เช่น กล่องกระดาษหรือพลาสติก ถูกระดาษหรือพลาสติก กระป๋องโลหะต่างๆ ขวดแก้วหรือพลาสติก ฯลฯ
- 5) มูลฝอยจากโรงพยาบาล (Hospital Waste) จะถูกจัดไว้ในกลุ่มของมูลฝอยอันตราย เพราะอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายประการ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่น่าจะพิจารณาจัดการแยกออกต่างหากจากมูลฝอยที่มาจากแหล่งอื่นๆ

6) มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Waste) มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนั้นหรือประเภทของอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ได้แก่พวกเศษอาหาร มูลฝอยแห้งต่างๆ เช่น เศษกระดาษ กระดาษแข็ง ขี้เถ้า ของเสียอันตราย เป็นต้น

2.1.2 ประเภทของขยะมูลฝอย

ประเภทของขยะที่เกิดขึ้นในเขตชุมชนสามารถจำแนกได้หลายรูปแบบ เช่น

- 1) จำแนกตามลักษณะที่มองเห็น เช่น ขยะเปียก ขยะแห้ง ขยะขนาดใหญ่ ซากสัตว์ ซากยานพาหนะ ขยะพวกเศษสิ่งก่อสร้าง และขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น
- 2) จำแนกตามแหล่งกำเนิด ได้แก่ ขยะจากชุมชน บ้านพักอาศัย ร้านค้า หน่วยงานหรือสถาบันการศึกษา พื้นที่ก่อสร้างและรื้อถอน กิจกรรมการบริการของเทศบาล อุตสาหกรรมโรงงาน เป็นต้น
- 3) จำแนกตามความเป็นอันตราย แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ขยะมูลฝอยชุมชน ของเสียอันตรายจากชุมชน และขยะมูลฝอยติดเชื้อ
- 4) จำแนกตามวิธีการจัดการขยะ เช่นที่ระบุไว้ในข้อบังคับกรุงเทพมหานครว่าด้วยหลักเกณฑ์การจัดการมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลของอาคารสถานที่และสถานบริการสาธารณสุข พ.ศ. 2545 ได้แบ่งขยะเป็น 4 ประเภท ได้แก่ มูลฝอยทั่วไป มูลฝอยที่ย่อยสลายได้ มูลฝอยที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ และมูลฝอยอันตราย

2.1.3 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ในประเทศไทยตัวอย่างมูลฝอยที่สุ่มออกมา จะนำมาแยกองค์ประกอบเป็นประเภทต่างๆ 10 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

Combustible Wastes	Non - Combustible Wastes
1. ผัก ผลไม้ เศษอาหาร	7. แก้ว
2. กระดาษ	8. โลหะ
3. พลาสติก	9. หิน กระเบื้อง
4. ผ้า	10. อื่นๆ
5. ไม้	
6. ขางและหนัง	

- 1) ผัก ผลไม้และเศษอาหาร หมายถึง เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการเตรียม การปรุง และการบริโภค (ยกเว้นเปลือกหอย กระดุก ก้างปลา ชังข้าวโพด ก้านกระถิน) เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ เป็นต้น
- 2) กระดาษ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ ตัวอย่างเช่น กระดาษ หนังสือพิมพ์ แมกกาซีน หนังสือต่างๆ ใบปลิว การ์ด ถุงกระดาษ กล่องกระดาษ กระดาษอัด เป็นต้น
- 3) พลาสติก หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ตัวอย่างเช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็กที่ทำด้วยพลาสติก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เป็นต้น
- 4) ผ้า หมายถึง สิ่งทอต่างๆที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ผ้าฝ้าย ลินิน ผ้าไนลอน ตัวอย่างเช่น ผ้า เสื้อผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า เป็นต้น
- 5) ไม้ หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ รวมทั้งดอกไม้
- 6) ยางและหนัง หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น เครื่องหนัง รองเท้า ลูกบอลหนัง กระเป๋านหนัง เป็นต้น
- 7) แก้ว หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว ตัวอย่างเช่น กระบอก ขวดแก้ว หลอดไฟ เครื่องแก้ว เป็นต้น
- 8) โลหะ หมายถึง วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ทำจากโลหะ ตัวอย่างเช่น กระจัง โลหะ สายไฟ Foil ภาชนะต่างๆ ตะปู เป็นต้น
- 9) หิน กระเบื้อง กระดุกสัตว์และเปลือกหอย หมายถึง เศษหิน เศษกระดุกสัตว์ เปลือกหอย ตัวอย่างเช่น Ceramics เปลือกหอย กุ้ง ปู กระดุกสัตว์ ก้างปลา เป็นต้น
- 10) อื่นๆ หมายถึง วัสดุอื่นใดที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้ากลุ่มต่างๆข้างต้น รวมถึง ฟุ่น ทราย ถั่ว

2.2 ลักษณะมูลฝอยที่นิยมทำการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผน

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอย (Physical Characteristics)

- 1) องค์ประกอบทางด้านกายภาพ (Physical composition) จะจำแนกตามชนิดของสิ่งของต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นมูลฝอยทั้งหมด โดยแบ่งเป็น มูลฝอยที่เผาไหม้ได้ (Combustible) เช่น โลหะ แก้ว กระเบื้อง อิฐ หิน กรวด และอื่น ๆ องค์ประกอบเหล่านี้อาจถูกแบ่งออกตามสัดส่วนโดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตรก็ได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วมักนิยมแบ่งตามสัดส่วนโดยน้ำหนักมากกว่า ในประเทศอุตสาหกรรมหรือประเทศที่ประชากรมีรายได้สูง มูลฝอยจากชุมชนส่วนใหญ่จะเป็นพวกเศษกระดาษและพลาสติก ในขณะที่ประเทศเกษตรกรรมหรือประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ มูลฝอยจะเป็นพวกเศษอาหารเป็นส่วนใหญ่

2) ความหนาแน่น (Density) ได้แก่ ค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมูลฝอย แบ่งได้เป็น ความหนาแน่นปกติ คือ ความหนาแน่นปกติโดยไม่มีการอัดหรือบีบมูลฝอยให้ผิดไปจากธรรมชาติ ความหนาแน่นในขณะขนส่ง (Transported density) คือ ความหนาแน่นของมูลฝอยในรถยนต์เก็บขนในขณะขนส่ง ซึ่งปกติแล้วจะถูกทำให้แน่นขึ้น เนื่องจากการตั่นสะเทือน และการอัดของพนักงานเก็บขนมูลฝอย ความหนาแน่นของมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยด้วย เช่น มูลฝอยที่มีพวกเศษอาหาร จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่ามูลฝอยที่มีพวกกระดาษ หรือพลาสติกมาก โดยทั่วไปมูลฝอยจากชุมชนในกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้สูง จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างน้อย คือ ประมาณ 100-170 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ปานกลาง จะมีค่าความหนาแน่น ประมาณ 250 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างสูง ประมาณ 250-500 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2.2.2 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Chemical Characteristics)

- 1) ความชื้น (Moisture content) หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอย โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอยมีทั้งน้ำที่อยู่ภายในตัวของมูลฝอยเอง (Inherent water) เช่น น้ำที่อยู่ในพืช ผัก เศษอาหาร ซึ่งมีประมาณ $\frac{1}{2}$ ถึง $\frac{2}{3}$ ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก เช่น น้ำฝน น้ำที่ออกมาจากเศษอาหาร ซึ่งประมาณ $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของปริมาณน้ำทั้งหมด
- 2) ปริมาณของแข็งรวม (Total solids) หมายถึง ปริมาณมูลฝอยแห้งที่เหลือภายหลังจากนำน้ำออกไปหมดแล้ว
- 3) ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solids) หมายถึง ส่วนของมูลฝอยที่สามารถติดไฟหรือเผาไหม้ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ
- 4) ปริมาณขี้เถ้า (Ash) หมายถึง กากของมูลฝอยที่เหลือจากการเผาไหม้ ความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้และปริมาณเถ้า มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน บางทีนิยมเรียกว่า “The Three Components” ถ้าทราบค่าลักษณะของมูลฝอยจำนวน 2 ค่า ในกลุ่มนี้จะสามารถหาค่าของตัวที่เหลือได้ ข้อมูลทั้ง 3 ค่าสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาประเภทเกษตรกรรมหรือประเทศกำลังพัฒนา มีค่าความชื้นสูงกว่ามูลฝอยในกลุ่มประเทศอุตสาหกรรม สำหรับมูลฝอยในประเทศไทยมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 50-60
- 5) ค่าความร้อน (Calorific value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มูลฝอยซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์การพิจารณาเลือกวิธีการกำจัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเผามีความเหมาะสมหรือไม่ เนื่องจากมูลฝอยมีค่าความร้อนต่ำกว่า 800 กิโลแคลอรี/กก. ของมูลฝอยจะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาด้วย ทำให้สิ้นเปลือง นอกจากนี้ค่าความร้อนของมูลฝอยยังใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเตาเผาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

- 6) องค์ประกอบด้านเคมี (Chemical composition) ได้แก่ ปริมาณสารไนโตรเจน (Nitrogen N) ปริมาณสารฟอสฟอรัส (Phosphorus P) ปริมาณโพแทสเซียม (Potassium K) ปริมาณสารคาร์บอน (Carbon C) ปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen H) ข้อมูลองค์ประกอบด้านเคมีส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการเลือกวิธีและออกแบบระบบกำจัดมูลฝอย เช่น ใช้คำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในเตาเผา ใช้คำนวณค่าความร้อนของมูลฝอย ตลอดจนใช้คำนวณหาสัดส่วนของ Carbon และ Nitrogen (C/N ratio) และปริมาณสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการหมักปุ๋ย เป็นต้น
- 7) สารเคมีเป็นพิษ เช่น โลหะหนักต่าง ๆ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการประเมินขอบเขตและความรุนแรงของภาวะการปนเปื้อนของของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.3 ลักษณะทางชีวภาพ (Biological Characteristics)

ลักษณะทางชีวภาพจะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในมูลฝอย เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและไวรัส ซึ่งบางชนิดอาจทำให้เกิดโรคได้ (Pathogenic) บางชนิดไม่ทำให้เกิดโรค (Non-pathogenic) บางชนิดเป็นตัวช่วยให้มูลฝอยเกิดการย่อยสลายได้ดี เช่น Decomposition bacteria เป็นต้น ซึ่งจากการรวบรวมผลการศึกษาลักษณะมูลฝอยจากชุมชนในรายงานหลาย ๆ ฉบับ พบว่ามูลฝอยที่เกิดขึ้นจากชุมชนต่าง ๆ ของประเทศจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันทั่วประเทศ คือ มีเศษอาหารเป็นองค์ประกอบหลักมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 50-60 ค่าความร้อนประมาณ 1,200-1,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

2.3 สถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี รวมทั้งปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัด และปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากข้อมูลสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แบ่งขยะตามแหล่งที่มา 3 แหล่ง ได้แก่ ขยะในเขตกรุงเทพมหานคร ขยะในเขตเทศบาลและเมืองพัทยา และขยะนอกเขตเทศบาล พบว่า ในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณขยะเกิดขึ้น 26.77 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 2 ล้านตัน โดยร้อยละ 16 มาจากเขตกรุงเทพมหานคร ร้อยละ 38 มาจากเขตเทศบาล และร้อยละ 46 มาจากนอกเขตเทศบาล โดยขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมดนั้นได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพียงร้อยละ 27 และถูกนำไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 19 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นและการจัดการขยะมูลฝอย ปี พ.ศ. 2551-2556

ปี พ.ศ.	ปริมาณ ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น (ล้านตัน)	ปริมาณขยะมูลฝอย ที่ถูกกำจัด		ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูก นำไปใช้ประโยชน์	
		(ล้านตัน)	(ร้อยละ)	(ล้านตัน)	(ร้อยละ)
2551	23.93	5.69	24%	3.45	14%
2552	24.11	5.97	25%	3.86	16%
2553	24.22	5.77	24%	3.90	16%
2554	25.35	5.64	22%	4.10	16%
2555	24.73	5.83	24%	5.28	21%
2556	26.77	7.27	27%	5.15	19%

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2556)

ส่วนองค์ประกอบของขยะในแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันในด้านสัดส่วน เนื่องจากความแตกต่างในหลายด้านของแต่ละพื้นที่ เช่น กิจกรรม ฐานะทางเศรษฐกิจ ค่านิยม วัฒนธรรม และระดับการพัฒนาในพื้นที่ เป็นต้น สำหรับในประเทศไทย พบว่า ปริมาณขยะในเขตเทศบาล มีสัดส่วนของเศษอาหารและขยะที่เป็นสารอินทรีย์มากที่สุด คือ ร้อยละ 63.57 รองลงมา ได้แก่ พลาสติก กระดาษ แก้ว โลหะ ผ้า ไม้ยางหรือหนัง ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นขยะอื่นๆ ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบเฉลี่ยในเทศบาลที่มีปริมาณมากกว่า 100 ตัน/วัน และ 50-100 ตัน/วัน

องค์ประกอบ	ปริมาณขยะ > 100 ตัน/วัน	ปริมาณขยะ 50-100 ตัน/วัน
เศษอาหาร/ผัก/ผลไม้	53.49%	57.18%
พลาสติก	20.12%	19.40%
กระดาษ	8.95%	8.38%
แก้ว	5.02%	3.47%
โลหะ	1.80%	1.52%
อื่นๆ เช่น กระดุก/สารพิษ เป็นต้น	10.62%	10.52%

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

การจัดขยะมูลฝอยที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและองค์ประกอบส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่มีการใช้
อยู่ในปัจจุบัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) มี 3 แบบได้แก่

1) การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

เป็นการทำลายขยะมูลฝอยในหลุมหรือพื้นที่ที่เตรียมไว้โดยการบดอัดขยะมูลฝอยด้วย
เครื่องจักรกล เพื่อให้ขยะมูลฝอยยุบตัวและความหนาแน่นมากขึ้นแล้วทำการปิดทับด้วยวัสดุถมกลบ
เช่น ดินที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงหรือมีการใช้พลาสติกปิดคลุมมีระบบกันซึมที่กั้นหลุมเพื่อป้องกันน้ำ
ชะขยะมูลฝอยไหลออกไปสู่ลำน้ำได้ดิน มีระบบรวบรวมน้ำชะขยะมูลฝอยไปบำบัด มีการตรวจสอบการ
รั่วซึมของหลุมฝังกลบ และมีระบบการติดตามตรวจสอบสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2) การเผาในเตาเผา (Incineration)

เป็นการใช้หลักการการเผาไหม้ (Combustion) เพื่อทำลายหรือเปลี่ยนสภาพขยะมูลฝอยที่อยู่ใน
รูปของแข็งให้กลายเป็นก๊าซ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไอน้ำ (H_2O) รวมทั้งของแข็งที่ไม่มี
การติดไฟอีกต่อไป เช่น เถ้าหนัก เถ้าลอย เป็นต้น พร้อมการควบคุมมลพิษทางอากาศและสามารถนำ
พลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ อาทิ น้ำร้อน ไอน้ำ และกระแสไฟฟ้า

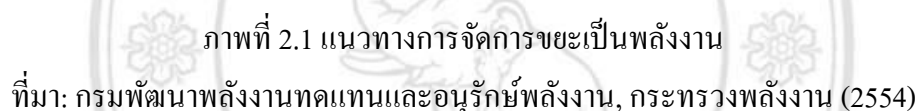
3) การหมักทำปุ๋ย (Composting)

เป็นการทำลายขยะมูลฝอยประเภทสารอินทรีย์อาหารพืชผักผลไม้ต่างๆ ด้วย
กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นปุ๋ยที่ไม่ย่อย
สลายต่อไปอีกจนกระทั่งมีสีดำหรือสีน้ำตาลจากปฏิกิริยามีน้ำ (H_2O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
รวมทั้งพลังงานความร้อนส่วนองค์ประกอบขยะมูลฝอยอื่นๆ ที่ไม่สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยได้ เช่น
เศษพลาสติกแก้ว โลหะ กระดาษ ต้องนำไปฝังกลบหรือคัดแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

นอกจาก 3 วิธีดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการนำเทคโนโลยีแบบอื่นมาใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอย
ร่วมด้วยซึ่งวิธีการกำจัดที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย คือ การกำจัด
ขยะมูลฝอยโดยการฝังกลบ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้จำแนกวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยแบบการฝังกลบ
เป็น 4 แบบ คือ การเทกอง การเทกองที่มีการควบคุม การฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักทางวิศวกรรม
และการฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาล

2.4 การแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้ให้ความหมายว่า “การแปร
รูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน คือ การนำขยะไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดย
อาศัยกระบวนการทางชีวเคมีและกระบวนการทางความร้อน” ซึ่งจะมีเทคโนโลยีและวิธีการผลิตที่
แตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะที่นิยมใช้มีหลายเทคโนโลยีด้วยกัน แสดง
ดังภาพที่ 2.1



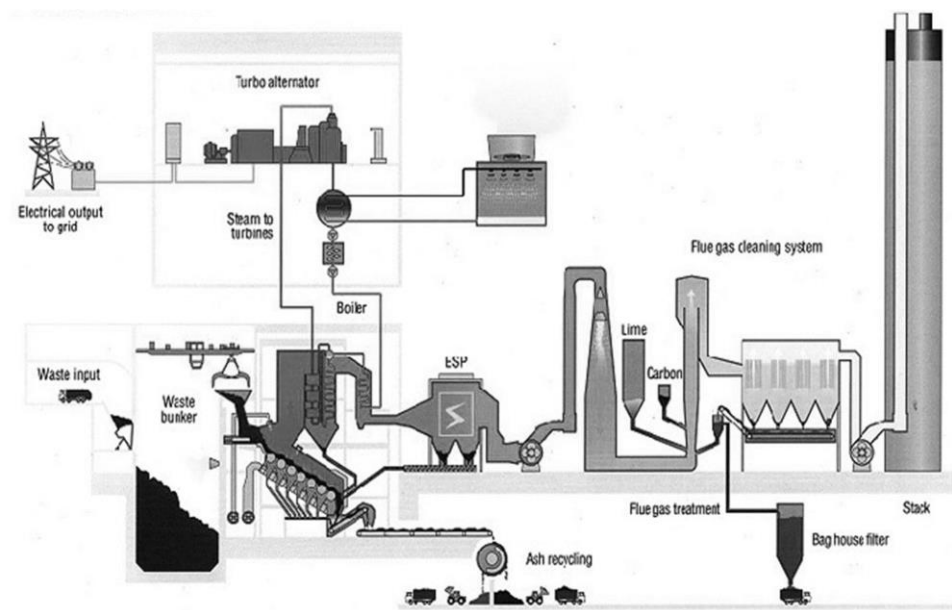
2.4.1 เทคโนโลยีความร้อน

เป็นการใช้กระบวนการใช้ความร้อนทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการแตกสลายตัว ได้แก่

1) เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator)

23

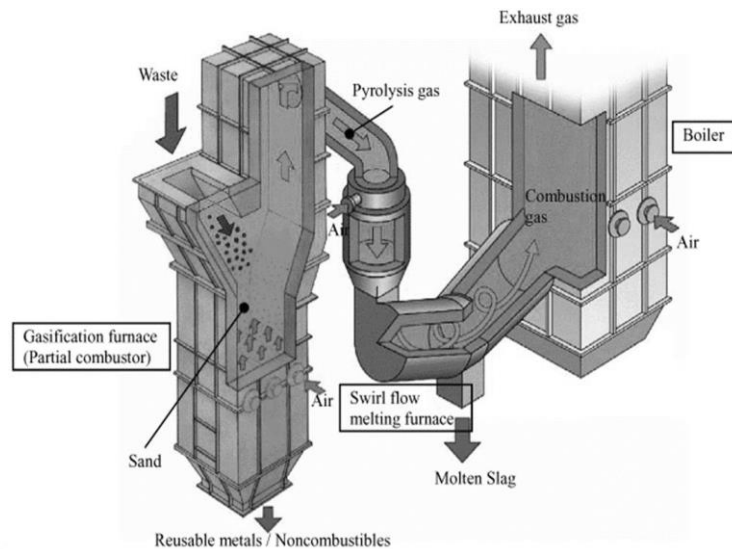
นอกจากนี้สามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมาใช้ในการผลิตไอน้ำหรือทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โรงเผาขยะมูลฝอยแบบนำความร้อนมาผลิตกระแสไฟฟ้า
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554)

2) เทคโนโลยีไพโรไลซิส/แก๊สซิฟิเคชัน (Pyrolysis/Gasification)

เป็นกระบวนการทำให้ขยะมูลฝอยเป็นแก๊สโดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ กล่าวคือสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดแก๊สซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน เรียกว่า Produce Gas ซึ่งในกรณีที่ใช้อากาศเป็นแก๊สทำปฏิกิริยาแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนต่ำประมาณ 3-5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรมาตรฐาน แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นแก๊สทำปฏิกิริยา แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงประมาณ 15-20 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรมาตรฐาน



ภาพที่ 2.3 เตาเผาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554)

3) เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)

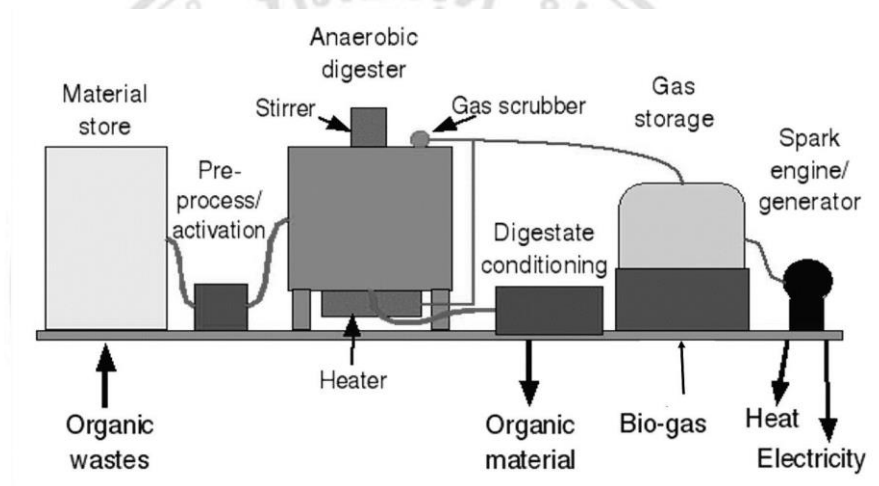
เป็นเทคโนโลยีด้านพลังงานขั้นสูงที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยได้หลายลักษณะ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการบำบัดและผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชน หลักการในการทำงาน คือ การป้อนขยะมูลฝอยเข้าไปใน plasma arc field ซึ่งอุณหภูมิสูงประมาณ 5,000-15,000 องศาเซลเซียส โดยตรง อุณหภูมิที่สูงระดับนี้ทำให้ขยะมูลฝอยถูกความร้อนเผาทำลายลงหมด ความร้อนที่ได้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำและนำไอน้ำมาผลิตเป็นพลังงานกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ เครื่องปฏิกรณ์พลาสมา (Plasma Reactor) ระบบควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Control) และระบบผลิตพลังงาน (Power Generation Unit)

2.4.2 เทคโนโลยีชีวภาพ

เทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในขยะมูลฝอยด้วยจุลินทรีย์และทำให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ได้แก่ 1) เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และ 2) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

การย่อยสลายขยะชุมชนแบบไม่ใช้อากาศ มีหลักการเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียต่างๆ แต่ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการย่อยสลายขยะชุมชนมีมากกว่า เนื่องจากขยะชุมชนจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งขนาดใหญ่และอยู่ภายใต้สภาวะที่เรียกว่า “แห้งกว่า” น้ำเสียต่างๆ มาก การย่อยสลายขยะจึงมีขั้นตอนการบดขยะและขั้นตอนการลดขนาดของของแข็งอินทรีย์ จากนั้นจึงเป็นกลไกปกติของการย่อยสลายภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจากขยะอินทรีย์
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554)

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะขึ้นกับองค์ประกอบและคุณภาพของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะขึ้นกับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดยทั่วไประบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 50-200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ (น.น. เปียก) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือประมาณ 200-600 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของแข็งระเหย (น.น. แห้ง) โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ

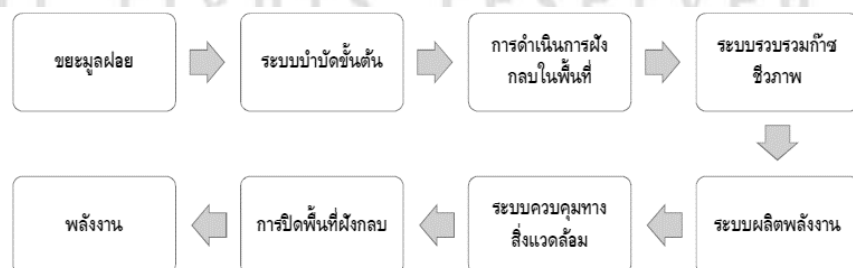
2) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)

เป็นการนำขยะชุมชนมาฝังกลบในพื้นที่จัดเตรียมไว้ โดยใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะมูลฝอยยุบตัวลงจนมีความหนาแน่นของชั้นขยะมูลฝอยตามที่กำหนด จากนั้นใช้ดิน

บดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงนำขยะมูลฝอยชุมชนมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับต่อไปเรื่อยๆ ในช่วงแรกของการฝังกลบจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการใช้ออกซิเจนที่แทรกอยู่ตามช่องว่างภายในบริเวณฝังกลบ และเมื่อออกซิเจนที่มีอยู่หมดลง การย่อยก็จะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางเคมีของขยะมูลฝอยในบริเวณหลุมฝังกลบ ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และแอมโมเนีย โดยจะพบก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ หากก๊าซชีวภาพที่ได้นี้มีความเข้มข้นของมีเทนมากกว่า 50% ขึ้นไปก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานความร้อนได้โดยตรงในรูปของก๊าซดิบ (Raw Gas) หรือนำไปผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซ (Gas Upgrading) ก่อนนำไปใช้เพื่อให้เกิดความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) หรือกังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) ได้อีกด้วย ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น สามารถจำแนกตามวิธีการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

2.1) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill หรือ Conventional Landfill)

เป็นการพัฒนาและปรับปรุงระบบฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ภายในหลุมฝังกลบโดยองค์ประกอบหลักของการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล ประกอบด้วย ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment System) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระบบรวบรวมน้ำชะขยะ (Leachate Collection System) ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การผลิตพลังงานโดยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554)

2.2) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบ Bioreactor Landfill

Bioreactor Landfill มีลักษณะการก่อสร้างเหมือนกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) แต่มีหลักการในการออกแบบระบบที่แตกต่างไปจากการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือ Conventional Landfill เพื่อย่นระยะเวลาของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนให้มีสถานะเสถียรและคงที่ภายในเวลา 5-10 ปี โดยมีหลักการพื้นฐานในการออกแบบและการดำเนินงานระบบแบบเฉพาะ เพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชน เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้ กระดาษ และอื่นๆ โดยควบคุมความชื้นให้เหมาะสมและเติมสารอาหารที่จำเป็น (Nutrients) ให้แก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย ในการควบคุมความชื้นนั้นทำได้โดยการเติมน้ำหรือหมุนเวียนน้ำชะขยะเข้าไปในระบบเพื่อให้ชั้นขยะมูลฝอยมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน องค์ประกอบหลักในการดำเนินงานผลิตพลังงานแบบ Bioreactor Landfill ประกอบด้วย ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) การดำเนินงานฝังกลบในพื้นที่ ระบบรวบรวม และควบคุมน้ำชะขยะ (Collection and Control of Leachate)

2.4.3 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

เป็นการเปลี่ยนรูปขยะ โดยการคัดเลือกองค์ประกอบของขยะมาสู่กระบวนการคัดแยกและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานต่อไป โดยกระบวนการจัดการต่างๆ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การนึ่งหรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็กๆ เชื้อเพลิงขยะที่ได้นี้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอว่า ข้อดีของเชื้อเพลิงขยะ คือ ค่าความร้อนสูง ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าเชื้อเพลิงขยะ แบ่งออกเป็น 7 ชนิดตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้น จำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการไม่ว่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) การคัดแยกที่แหล่งกำเนิด 2) การคัดแยกด้วยมือหรือเครื่องจักร 3) การลดขนาด 4) การแยกขนาด 5) การผสม 6) การทำให้แห้งและการอัดแท่ง และ 7) การบรรจุและการเก็บ

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF 1 : MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือรวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF 2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	FBC, MFC
RDF 3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ออก เช่น โลหะแก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ ทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	FBC, PF
RDF 5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้ความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m ³	FBC, MFC
RDF 6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Swirl burner
RDF 7 : RDF Syn-gas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner, IGCC

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2557)

การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานด้วยวิธีต่างๆ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อดี-ข้อเสียของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน

เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อจำกัด
เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration)	- มีความยืดหยุ่นต่อประเภทของขยะสูง - สามารถเผาขยะได้หลายชนิดในเวลาเดียวกันแต่ใช้พื้นที่ระบบน้อย - ลดมวลและปริมาตรได้มาก	- เงินลงทุนค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูง - โรงกำจัดต้องมีกำลังการกำจัดไม่ต่ำกว่า 250 ตันต่อวัน - เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงยังไม่สามารถพัฒนาได้ในประเทศ

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อดี-ข้อเสียของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน (ต่อ)

เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อจำกัด
	• เวลาทำจัดสั้น • ผลิตพลังงานได้มาก	
เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)	• เป็นเทคโนโลยีสะอาด • องค์ประกอบขยะในประเทศไทยส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูง • เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน • พัฒนาเทคโนโลยีได้เองในประเทศ	• ต้องแยกขยะอินทรีย์จากต้นทาง • ควรพัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์ให้ทนต่อสิ่งแวดล้อมให้ gas yield สูง • ควรสร้างตลาดให้กับสารปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อเพิ่มรายได้ให้ระบบ
เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas to Energy)	• ช่วยลดการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศ • ลดความเสี่ยงในการระเบิดหรือเพลิงไหม้บริเวณฝังกลบ • เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน • พัฒนาเทคโนโลยีเองได้ในประเทศ	• ต้องมีปริมาณขยะในหลุมฝังกลบมากกว่า 1 ล้านตันจึงจะคุ้มค่า • การพยากรณ์อัตราเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการต่อการพยากรณ์ • องค์ความรู้ยังไม่แพร่หลาย
เทคโนโลยีเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel)	• เป็นเทคโนโลยีสะอาด • ใช้ร่วมกับไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชัน • เชื้อเพลิงที่ได้ไม่จำเป็นต้องมีการผลิตพลังงานทันทีเก็บไว้ผลิตเมื่อใดก็ได้ • สามารถพัฒนาได้เองในประเทศ	• ไม่เป็นระบบกำจัดที่เบ็ดเสร็จต้องมีระบบกำจัดขั้นสุดท้าย • ขาดข้อมูลของโรงงานกำจัดที่เดินระบบในเชิงพาณิชย์ • ยังไม่มีตลาดการซื้อขาย
เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification)	• เป็นเทคโนโลยีสะอาด • ลดมวลและปริมาตรได้ดี • เวลาทำจัดสั้น	• ต้องมีการจัดการขยะเบื้องต้นก่อน • เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายการ

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อดี-ข้อเสียของเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน (ต่อ)

เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อจำกัด
	• ผลิตพลังงานได้มาก • ใช้พื้นที่ระบบน้อย	• ปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูง • ขาดข้อมูลของโรงกำจัดที่มี การดำเนินงานในเชิงพาณิชย์ • เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง
เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)	• ให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง สามารถเผาทำลายอย่างมีประสิทธิภาพ • กำจัดขยะได้ทุกประเภท โดยการทำให้ของแข็งทุกประเภท กลายเป็น Slag นำไปใช้ในการ ก่อสร้างได้	• เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายการ ปฏิบัติ งานและบำรุงรักษาสูง • สถานภาพของเทคโนโลยี ปัจจุบันยังอยู่ในขั้นต้นแบบยัง ไม่มีข้อมูลยืนยันในเชิงพาณิชย์
เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis)	• เชื้อเพลิงอยู่ในสถานะ ของเหลวทำให้สะดวกและ ประหยัดค่าขนส่ง • เชื้อเพลิงที่ได้ไม่ต้องผลิตทันที • ใช้พื้นที่ระบบน้อยและพัฒนา ได้เอง	• ต้องมีการคัดแยกขยะประเภท พลาสติก • ต้องมีระบบทำความสะอาด ขยะ

ที่มา: แผนพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) กระทรวงพลังงาน (2554)

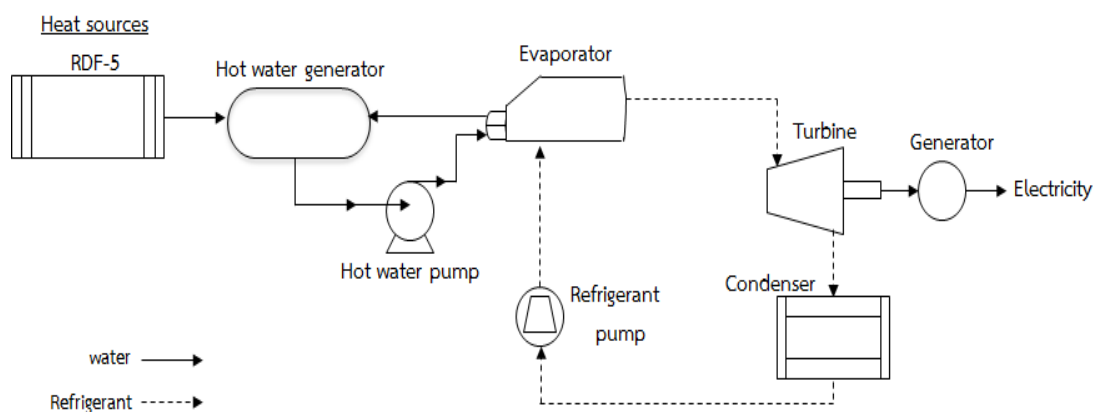
ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีก็จะมีเกณฑ์พื้นฐานในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีสำหรับการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีสำหรับการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน

ประเด็น	ปริมาณขยะมูลฝอย	องค์ประกอบของขยะมูลฝอย	การคัดแยกขยะมูลฝอย	เงินลงทุน	พื้นที่ที่ต้องเตรียม
เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration)	ไม่น้อยกว่า 50 ตัน/วัน	ขยะมูลฝอยประเภท ให้ความร้อนสูง เช่น กระดาษ พลาสติก	ควรคัดแยกขยะที่มีความชื้นสูงออกก่อน เพื่อลดการใช้พลังงาน	ประมาณ 3-4 ล้านบาท/ตันขยะ	ไม่น้อยกว่า 10 ไร่
เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)	ไม่น้อยกว่า 10 ตัน/วัน โดยมีสัดส่วนของขยะอินทรีย์ไม่น้อยกว่า 4 ตัน/วัน	ขยะมูลฝอยประเภท อินทรีย์	ควรมีการคัดแยกประเภทของขยะ เพราะต้องใช้ขยะประเภทที่เฉพาะเจาะจง	ประมาณ 750,000-1,200,000 บาท/ตันขยะ	ไม่น้อยกว่า 5 ไร่
เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)	ไม่น้อยกว่า 100 ตัน/วัน และมีสัดส่วนของขยะอินทรีย์ไม่น้อยกว่า 40 ตัน/วัน	กำจัดมูลฝอยได้ทุกประเภท	ไม่จำเป็น	ประมาณ 300,000-700,000 บาท/ตันขยะ	ไม่น้อยกว่า 100 ไร่
เทคโนโลยีแท่งเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel)	ขยะมูลฝอยที่คัดแยกและพร้อมนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงไม่น้อยกว่า 50 ตัน/วัน	ขยะมูลฝอยประเภท ให้ความร้อนสูง เช่น พลาสติก กระดาษ	ควรมีการคัดแยกประเภทของขยะ เพราะต้องใช้ขยะประเภทที่เฉพาะเจาะจง	ประมาณ 60,000-90,000 บาท/ตันขยะ	ไม่น้อยกว่า 6 ไร่
เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification)	ไม่น้อยกว่า 50 ตัน/วัน	ขยะมูลฝอยประเภท ให้ความร้อนสูง เช่น พลาสติก กระดาษ	ควรคัดแยกขยะที่มีความชื้นสูงออกก่อน	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)	ไม่น้อยกว่า 200 ตัน/วัน	ไม่มีข้อจำกัด	ไม่จำเป็น	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
เทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis)	ขยะพลาสติกไม่น้อยกว่า 50 ตัน/วัน	ขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก	ควรมีการคัดแยกประเภทของขยะ เพราะต้องใช้ขยะที่เฉพาะเจาะจง	ประมาณ 8 ล้านบาท/ตันขยะพลาสติก	ไม่น้อยกว่า 5 ไร่

ที่มา: คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานสำหรับท้องถิ่น กรมควบคุมมลพิษ (2554)

นอกจากเทคโนโลยีที่กล่าวมาแล้วนั้น อีกเทคโนโลยีที่น่าสนใจ คือ เทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ หรือ Organic Rankin Cycle (ORC) ซึ่งเป็นระบบการทำงานที่ใช้หลักการของวัฏจักรแรงดัน (Rankin Cycle) แต่ใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในระบบแรงดัน ทำให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ ORC สามารถทำให้สารทำงานกลายสถานะจากของเหลวเป็นไอ เพื่อใช้ขับเคลื่อนและผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โดยใช้แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำประมาณ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นน้ำร้อนดังกล่าวจะถูกจ่ายให้ระบบ ORC โดยปั๊มน้ำร้อน (Hot water pump) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงาน (Refrigerant) ในระบบ และถูกส่งกลับไปรับความร้อนอีกครั้งที่หม้อต้มน้ำ ซึ่งสารทำงานในระบบ ORC คือ R-245fa โดยจะถูกส่งมารับความร้อนที่เครื่องระเหย (Evaporator) โดยปั๊มสารทำงาน (Refrigerant Pump) เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจากน้ำร้อนภายใต้ความดันลงที่จนกระทั่งเข้าสู่สถานะของเหลวอิ่มตัวกลายเป็นไออิ่มตัว เป็นไอร้อนขยายเข้าสู่กังหัน (Turbine) เพื่อขยายตัวและขับเคลื่อนเพลลาที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิจะลดลงและอยู่ในสถานะของผสมระหว่างไอสารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นฉีดพ่นเข้าสู่ภายในของกังหันเพื่อลดความเสียดทานระหว่างสัมผัสกันของโลหะที่ใช้ทำกังหัน จากนั้นไอสารทำงานจะแยกตัวออกจากน้ำมันหล่อลื่นโดยตัวแยกของไหล (Oil and Vapor Separator) เข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวอีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แผนผังของระบบ ORC ในการใช้ RDF-5 เป็นแหล่งเชื้อเพลิง
ที่มา: Chaiyat (2015)

2.5 การคาดการณ์จำนวนประชากร

การคาดการณ์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ คือ จำนวนประชากรในปัจจุบันและในอดีตที่ผ่านมา เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของประชากรตลอดจนใช้ประกอบเพื่อศึกษาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรในอนาคต (จตุพร, 2554) จากสมการที่ 2.1

$$P_n = P_o (1+r)^n \quad (2.1)$$

เมื่อ P_n คือ จำนวนประชากรเมื่อปีที่ n ในอนาคตจากปัจจุบัน (คน)
 P_o คือ จำนวนประชากรในปัจจุบันหรือปีที่เริ่มต้นการคำนวณ (คน)
 r คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของประชากร (คนต่อปี)
 n คือ ช่วงเวลาที่ต้องการคำนวณการเปลี่ยนแปลงนับจากปีปัจจุบันหรือปีที่เริ่มต้นการคำนวณ (ปี)

โดยที่
$$r_i = (P_n - (P_{n-1})) / (P_{n-1}) \quad (2.2)$$

เมื่อ r_i คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของประชากร (ร้อยละ)
 i มีค่าเท่ากับ 1 ถึง n
 P_{n-1} คือ จำนวนประชากรในปัจจุบันหรือปีที่เริ่มต้นการคำนวณ (คน)

โดยที่
$$r_{average} = (\sum r_i) / n \quad (2.3)$$

2.6 การคาดการณ์ปริมาณขยะ

ในการคาดการณ์ปริมาณขยะต้องใช้ข้อมูลอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อหัวประชากร (Per Capita Waste Generation Rate) ของพื้นที่ที่ทำการศึกษานในหน่วยของกิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างรอบคอบเพื่อใช้ประเมินอัตราเพิ่มขึ้นในอนาคตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับใช้ประกอบในการคำนวณปริมาณขยะชุมชนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตจากสมการที่ 2.4

$$T_{MSW} = \frac{P \times R_{MSW}}{1000} \quad (2.4)$$

เมื่อ T_{MSW} คือ ปริมาณขยะมูลฝอย (คน)
 P คือ จำนวนประชากร (คน)
 R_{MSW} คือ อัตราการเกิดขยะ (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน)

โดยที่ อัตราการเกิดขยะได้จากสมการที่ 2.5

$$\text{อัตราการเกิดขยะ} = \frac{\text{ปริมาณขยะมูลฝอย} \times 1000}{\text{จำนวนประชากร}} \quad (2.5)$$

2.7 การวิเคราะห์พลังงานในการนำขยะมาผลิตไฟฟ้า

2.7.1 การวิเคราะห์พลังงานของเทคโนโลยีเตาเผาขยะเพื่อผลิตไฟฟ้า

การคำนวณเพื่อหาขนาดของโรงไฟฟ้าโดยตัวแปรต่างๆมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.6

$$MW_{Inc} = S_{MSW} \times Q_{MSW} \times Eff_{In} \quad (2.6)$$

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

2.7.2 การวิเคราะห์พลังงานของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะใช้เฉพาะขยะประเภทอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เท่านั้น โดยการวิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยตัวแปรสำคัญ แสดงดังสมการที่ 2.7

$$MW_{AD} = Q_{Biogas} \times B_{AD} \times R_{MSW} \times Eff_{AD} \quad (2.7)$$

เมื่อ	MW_{AD}	คือ ขนาดของโรงไฟฟ้า (MW)
	Q_{Biogas}	คือ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (MJ/m ³)
	R_{MSW}	คือ อัตราขยะมูลฝอยที่เข้าระบบ (ตัน/วัน)
	B_{AD}	คือ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักขยะอินทรีย์ (m ³ /ton)
	Eff_{AD}	คือ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (%)

2.7.3 การวิเคราะห์พลังงานของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ

การวิเคราะห์ขนาดของโรงไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยตัวแปรสำคัญ แสดงดังสมการที่ 2.8

$$MW_{LFG} = Q_{Biogas} \times B_{LFG} \times C_{LFG} \times Eff_{LFG} \quad (2.8)$$

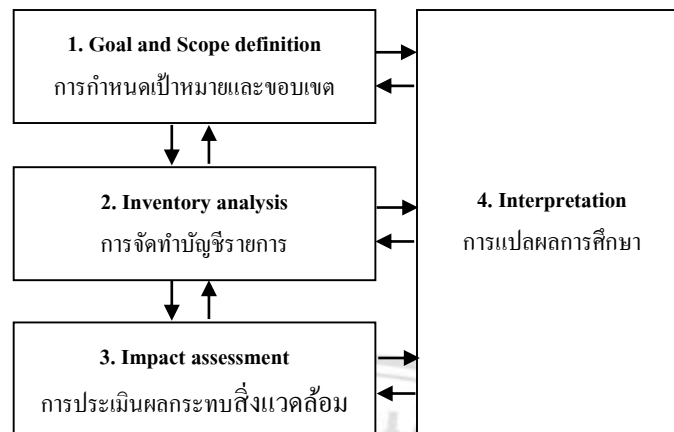
เมื่อ	MW_{LFG}	คือ ขนาดของโรงไฟฟ้า (MW)
	Q_{Biogas}	คือ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (MJ/m ³)
	C_{LFG}	คือ ร้อยละของก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้ (%)
	B_{LFG}	คือ ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยในช่วงการผลิต (m ³ /ปี)
	Eff_{LFG}	คือ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ (%)

ส่วนเทคโนโลยีแห่งเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง และเทคโนโลยีแห่งเชื้อเพลิงขยะร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จะอ้างอิงการคำนวณจากสมการที่ 2.6

2.8 การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตจะดำเนินการตามกรอบการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ พิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมถึงการใช้นำหรือการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดเศษซากหลังหมดอายุการใช้งาน โดยระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยจะพิจารณาในแง่ของการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน สุขภาพอนามัยของมนุษย์และผลกระทบต่อระบบนิเวศ เป็นต้น

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดๆ ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040-14043 การทำ LCA แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน (Graedel, 1998) แสดงดังรูปที่ 2.7 ได้แก่



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ผลิตภัณฑ์ตามหลัก ISO 14040

ที่มา: Graedel (1998)

2.8.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope definition)

เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาและพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นนำไปปรับปรุงกระบวนการหรือนำไปเปรียบ เทียบกับผลิตภัณฑ์ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ซึ่งการกำหนดขอบเขต จะเป็นการกำหนดสิ่งที่ต้องการทำการประเมินและจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- 1) หน่วยการทำงาน (Functional Unit) เป็นพื้นฐานของการศึกษา LCA เพราะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหรือเป็นตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลจากการวัดจะใช้เป็นคำตอบของลักษณะ 3 ประการของหน่วยการทำงาน ได้แก่ ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความทนทานของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติพื้นฐาน
- 2) คุณภาพของข้อมูล (Data Quality) ที่นำมาใช้ในการประเมินจะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยคุณภาพของข้อมูลจะทำให้ทราบรายละเอียดต่างๆ ที่สำคัญ และทำให้การประเมินเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์

2.8.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory)

เป็นการจัดทำฐานข้อมูล โดยการจัดทำบัญชีรายการ การเก็บรวบรวม และคำนวณข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศน้ำ

และดิน ซึ่งการจัดทำบัญชีรายการและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะมีการเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและขาออกจำนวนมาก เพื่อให้เกิดความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล จึงจำเป็น ต้องมีการทำการตรวจสอบโดยใช้วิธีการสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน รายละเอียดดังนี้

- 1) สมดุลมวล (Mass balance) เป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวลสารว่ามวลไม่สูญหายหรือถูกทำลายไป ซึ่งคือการพิจารณาว่ามีมวลสารขาเข้าและขาออกเท่าไร มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ของมวลสารภายในระบบอย่างไร ดังสมการ 2.9

$$\text{มวลสารเข้าระบบ} = \text{มวลสารออกจากระบบ} + \text{มวลสารที่สะสมในระบบ} \quad (2.9)$$

- 2) สมดุลพลังงาน (Energy balance) เป็นหลักการพื้นฐานของกฎการคงตัวของพลังงานว่าพลังงานเป็นสิ่งที่ไม่สามารถสร้างขึ้นมาได้และไม่สามารถที่จะทำให้สูญหายไป ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดของวัตถุก้อนใดก้อนหนึ่งไม่ว่าอยู่ตำแหน่งใดย่อมมีค่าเท่ากัน ทุกๆตำแหน่งซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการ ดังสมการ 2.10

$$\text{พลังงานที่เข้าสู่ระบบ} = \text{พลังงานที่ออกจากระบบ} + \text{พลังงานที่สะสมในระบบ} \quad (2.10)$$

หากมีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน และมีการใช้ระบบสาธารณูปโภคร่วมกันระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องมีการแบ่งส่วนปริมาณสารขาเข้าและ/หรือสารขาออกของกระบวนการหรือระบบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาไปยังผลิตภัณฑ์เป้าหมายและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ รายละเอียดดังนี้

- 3) การปันส่วน (Allocation) เป็นการแบ่งส่วนปริมาณสารขาเข้าและ/หรือสารขาออกของกระบวนการ หรือระบบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาไปยังผลิตภัณฑ์เป้าหมายและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของการปันส่วนมีอยู่หลายประเภท แต่ที่นิยมใช้ เช่น การพิจารณาตามสัดส่วนของมวล ปริมาตร พลังงาน และการพิจารณาตามจำนวนของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เป็นต้น การเลือกใช้ประเภทของการปันส่วนควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงของข้อมูลและตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ และลักษณะ ของสารขาเข้าและสารขาออก การคำนวณสัดส่วนของการปันส่วนให้แก่ผลิตภัณฑ์ แสดงดังสมการ 2.11

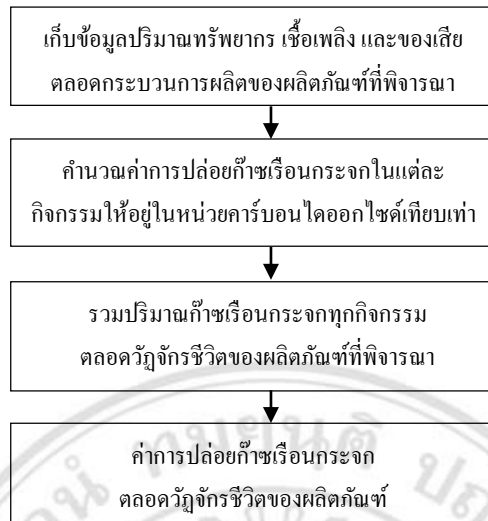
$$R_i = \frac{A_i P_i}{\sum_{i=1}^n A_i P_i} \quad (2.11)$$

เมื่อ	R_i	คือ สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ i
	A_i	คือ ค่าการปันส่วนตามประเภทที่พิจารณาของผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ มูลค่าของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น
	P_i	คือ ปริมาณหรือจำนวนของผลิตภัณฑ์
	n	คือ จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

2.8.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment) เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อบ่งชี้ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชีวิตและตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification) ในขั้นตอนนี้ข้อมูลสารขาเข้าและ ออกในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์จะถูกจำแนกให้เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละชนิดจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันไป
- 2) การแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) หลังจากจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว แต่สารแต่ละชนิดที่ก่อให้เกิดผลกระทบรูปแบบเดียวกันนั้นจะมีความรุนแรงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จะทำการแปลงข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเดียวกันให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปตัวชี้วัดตามหน่วยมาตรฐานที่ได้จากการเทียบ ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐาน เรียกว่า Equivalent

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจะอ้างอิงตามคู่มือ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories ซึ่งจะประเมินศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ด้วยการใช้ค่าศักยภาพในการก่อ ให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการเทียบค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกเทียบกับค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสารอ้างอิงพื้นฐาน คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสดงผลในเชิงปริมาณ คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม (kg-CO_2 equivalent) ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แผนผังแสดงขั้นตอนในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ถูกควบคุมในพิธีสารเกียวโตมี 7 ชนิด ซึ่งจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ก๊าซมีเทน (CH₄), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O), ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC), ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC), ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) (องค์การบริการก๊าซเรือนกระจก, 2556) แต่ตาม 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories จะคำนวณเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), มีเทน (CH₄) และไนตรัสออกไซด์ (N₂O) เท่านั้น โดยการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล มีดังต่อไปนี้

2.1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

การได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าจากขยะนั้นมีปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการหลายประเภท ได้แก่ เชื้อเพลิง สารเคมี และทรัพยากร ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการได้มาซึ่งวัตถุดิบนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.12

$$GHG_{emissionmat} = \sum A_i \times EF_i \quad (2.12)$$

เมื่อ $GHG_{emissionmat}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

A_i คือ ปริมาณของทรัพยากร i ที่ส่งผลกระทบต่อก๊าซเรือนกระจก (หน่วย)

EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ใน (Emission factor) แต่ละกิจกรรม i
(กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/หน่วย
การทำงาน)

โดยจะยกตัวอย่างการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเก็บรวบรวมขยะ
ซึ่งเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในการเก็บขนขยะ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

$$GHG_{emission fuel} = FC_{fuel} \times NCV_{fuel} \times EF_{GHG, fuel} \quad (2.13)$$

เมื่อ $GHG_{emission fuel}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้
เชื้อเพลิง (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
 FC_{fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ (หน่วย)
 NCV_{fuel} คือ ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้
(เมกะจูล/หน่วย)
 $EF_{GHG, fuel}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ
เชื้อเพลิงฟอสซิล (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์
เทียบเท่า/เมกะจูล)

2.2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการขนส่ง

ในการขนส่งวัตถุดิบทั้งสารขาเข้าและสารขาออกต่าง ๆ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
จะขึ้นอยู่กับการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง ซึ่งหากทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการ
ขนส่งสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.1 แต่หากไม่ทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ใน
การขนส่ง สามารถคำนวณได้จากกระยะทางและน้ำหนักของวัตถุดิบที่ขนส่ง ดัง
สมการที่ 2.14

$$GHG_{emissionTP} = \sum \left[\left(\frac{W_j D_j}{W_T} \times ET_{T1} \right) + (W_j \times D_j \times EF_{T2}) \right] \quad (2.14)$$

เมื่อ $GHG_{emissionTP}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง
(กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/)
 W_j คือ น้ำหนักบรรทุกของวัตถุดิบ j (ตัน)
 W_T คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถบรรทุก (ตัน)

D_j	คือ ระยะทางการขนส่งของวัตถุดิบ j (กิโลเมตร)
EF_{T_1}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ วัตถุดิบ j เทียบกับ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/ตันกิโลเมตร)
EF_{T_2}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ วัตถุดิบ j เทียบกับ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/ตันกิโลเมตร)

2.3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนของการผลิตนั้นเกิดจากทั้งการใช้ทรัพยากรสารเคมี และเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่กล่าวไปแล้วข้างต้น แต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า นั้น คือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ขยะ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามคู่มือของ IPCC (IPCC, 2006) กำหนดให้คิดเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาขยะมูลฝอยที่มีฟอสซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในการคำนวณจะไม่คิดรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากแหล่งชีวภาพ ได้แก่ กระจาย อาหาร และเศษไม้ สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.15

$$CE = \sum_k (WF_k \times dm_k \times CF_k \times FCF_k \times OF_k) \times 44 / 12 \quad (2.15)$$

เมื่อ	CE	คือ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาขยะ มูลฝอย (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะ)
	WF_k	คือ ปริมาณขยะมูลฝอยประเภท k (น้ำหนักเปียก) ที่นำมา เผา (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะ)
	dm_k	คือ ปริมาณขยะมูลฝอยแห้งที่นำมาเผา
	CF_k	คือ สัดส่วนของคาร์บอนในขยะมูลฝอยแห้ง (ปริมาณ คาร์บอนทั้งหมด) (ค่า 0.0-1.0)
	FCF_k	คือ สัดส่วนของฟอสซิลคาร์บอนในคาร์บอนทั้งหมด (ค่า 0.0-1.0)
	OF_k	คือ ค่าออกซิเดชันแฟกเตอร์ (ค่า 0.0-1.0)
	$44/12$	คือ CO_2/C ratio
	k	คือ ประเภทของฟอสซิลในขยะมูลฝอยที่นำมาเผา

โดยในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงข้อมูลสัดส่วนของปริมาณขยะมูลฝอยแห่งที่นำมาเผา สัดส่วนของคาร์บอนในขยะมูลฝอยแห่ง สัดส่วนของฟอสซิลคาร์บอนในคาร์บอนทั้งหมด และค่าออกซิเดชันแฟกเตอร์จาก IPCC 2006 Guidelines for National GHG Inventory ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่ากลางสัดส่วนขยะมูลฝอย

ปริมาณขยะมูลฝอยประเภทที่นำมาเผา (WF_k)	ปริมาณขยะมูลฝอยแห่งที่นำมาเผา (dm_k)	สัดส่วนของคาร์บอนในขยะมูลฝอยแห่ง (CF_k)	สัดส่วนของฟอสซิลคาร์บอนในคาร์บอนทั้งหมด (FCF_k)	ค่าออกซิเดชันแฟกเตอร์ (OF_k)
เศษอาหาร/อินทรีย์สาร	0.4	0.38	0	1
พลาสติก	1	0.75	1	1
แก้ว	1	0	0	1
โลหะ	1	0	0	1
ไม้	0.85	0.5	0	1
ยาง/หนัง	0.84	0.67	0.2	1
ผ้า	0.8	0.5	0.2	1
กระดาษ	0.9	0.46	0.01	1
อื่นๆ	0.9	0.03	1	1

ที่มา: IPCC, 2006

2.4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล

เมื่อคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล สามารถคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งหมดได้จากสมการที่ 2.16

$$GHG_{emissiontotal} = \sum_m \sum_l (A_l \times EF_l) \quad (2.16)$$

เมื่อ $GHG_{emissiontotal}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมทั้งหมด (กิโกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

A_i	คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น จากกิจกรรม i (ปริมาณ/หน่วยการทำงาน)
EF_i	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ในแต่ละกิจกรรม i (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/หน่วย การทำงาน)

2.8.4 การแปลผล (Interpretation) เป็นการนำผลการศึกษาที่ได้จากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาเชื่อมโยงกัน เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์สรุปผลการศึกษา ทำให้ทราบว่าช่วงใดในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมส่วนไหนที่มีความสำคัญสูงสุด โดยการตีความและการแปลผลควรอยู่ภายใต้ของเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก

2.9 การวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Energy) เป็นวิธีการประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดเศษซาก โดยจะใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่แสดงถึงการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต (ลักษณะ เจริญสุข, 2556) แสดงดังสมการ 2.17

$$LCE = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \quad (2.17)$$

เมื่อ LCE คือ ปริมาณพลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ (MJ/หน่วยการทำงาน)

E คือ ค่าการใช้พลังงานในกระบวนการต่างๆ (MJ/หน่วยการทำงาน)

โดยค่าการใช้พลังงานในกระบวนการต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.18

$$E = \sum A_i \times EF_i \quad (2.18)$$

เมื่อ A_i คือ ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละกิจกรรม i (ปริมาณ/หน่วยการทำงาน)

EF_i คือ ค่าปัจจัยพลังงาน (Energy factor) ในแต่ละกิจกรรม (MJ/ปริมาณ)

โดยค่าพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล มีดังต่อไปนี้

2.9.1 การใช้พลังงานในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

การได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าจากขยะนั้นมีปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการหลายประเภท ได้แก่ เชื้อเพลิง สารเคมี และทรัพยากร ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งวัตถุดิบนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19

$$EC_{RM} = \sum EC_{ex,n} \quad (2.19)$$

เมื่อ EC_{RM} คือ พลังงานในการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

$EC_{ex,n}$ คือ พลังงานในการได้มาซึ่งวัตถุดิบของวัสดุแต่ละประเภท (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

n คือ ประเภทของวัสดุ

โดยค่าการใช้พลังงานในแต่ละวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20

$$EC_{ex,n} = \sum (A_n \times CED_n) \quad (2.20)$$

เมื่อ A_n คือ ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละกิจกรรม n (ปริมาณ/หน่วยการทำงาน)

CED_n คือ ค่าพลังงานสะสม (Energy Factor) ในแต่ละกิจกรรม n (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

2.9.2 การใช้พลังงานในขั้นตอนการขนส่ง

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขนส่งนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดพาหนะในการขนส่ง ระยะทาง และปริมาณการขนส่ง ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขนส่ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.21

$$EC_{TR} = [R_{EC} \times Distance] \times L_{tran} \quad (2.21)$$

เมื่อ EC_{TR} คือ พลังงานที่ใช้ในการขนส่ง (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

R_{EC} คือ อัตราการใช้พลังงาน (เมกะจูล/ตัน-กิโลเมตร)

$Distance$ คือ ระยะทาง (กิโลเมตร)

L_{tran} คือ ปริมาณการขนส่ง (ตัน/หน่วยการทำงาน)

โดยค่าอัตราการใช้พลังงาน (R_{EC}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.22

$$R_{EC} = \frac{R_{oil} \times E_{content}}{CP_{tran}} \quad (2.22)$$

เมื่อ	R_{oil}	คือ อัตราการใช้น้ำมัน (ลิตร/กิโลเมตร)
	$E_{content}$	คือ ค่าพลังงานเชื้อเพลิง (เมกะจูล/ลิตร)
	CP_{tran}	คือ ความจุพาหนะ (ตัน)

2.9.3 การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามีการใช้พลังงานจาก 2 ส่วน คือ พลังงานไฟฟ้และพลังงานเชื้อเพลิง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.23

$$EC_{OP} = EC_{fuel} + EC_{elec} \quad (2.23)$$

เมื่อ	EC_{OP}	คือ พลังงานที่ใช้ในการผลิต (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
	EC_{fuel}	คือ การใช้พลังงานเชื้อเพลิง (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
	EC_{elec}	คือ การใช้พลังงานไฟฟ้า (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

2.9.4 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า

เมื่อกำนวณการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ แล้ว การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.24

$$EC_{Total} = EC_{RM} + EC_{TP} + EC_{OP} \quad (2.24)$$

เมื่อ	EC_{Total}	คือ พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้า (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
	EC_{CL}	คือ พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
	EC_{TP}	คือ พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขนส่ง (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
	EC_{OP}	คือ พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

2.10 การวิเคราะห์การใช้พลังงานสุทธิ (Net Energy Consumption: NEC)

การวิเคราะห์การใช้พลังงานสุทธิ เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปริมาณพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์และพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่

เกิดจนตาย ซึ่งแสดง ทั้งในด้านของปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงาน ซึ่งการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้นั้นจะ เป็นการวิเคราะห์อัตราพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือ

- 1) พลังงานที่ใช้ในการผลิตโดยตรง (Direct energy) เป็นพลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆ ที่นำมาใช้ใน กระบวนการผลิต เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ พลังงานไฟฟ้า พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากการขนส่งภายในกระบวนการผลิต เป็นต้น
- 2) พลังงานที่ใช้ในการผลิตโดยอ้อม (Indirect energy) เป็นพลังงานจากแหล่งพลังงานสะสม ประกอบด้วย พลังงานด้านการบริโภค (Consumable energy) เป็นพลังงานที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบต่างๆ ที่นำมาใช้ในการผลิต เช่น สารเคมี น้ำ เป็นต้น พลังงานด้านต้นทุน (Capital energy) เป็นพลังงานที่ใช้ในการผลิตและซ่อมบำรุงเครื่องจักร และอาคารที่ใช้ในกระบวนการผลิต พลังงานจากแรงงานมนุษย์ (Human labor energy) เป็นพลังงานจากการปฏิบัติงานของมนุษย์ ในกระบวนการผลิตและพลังงานจากการขนส่ง

2.10.1 การคำนวณค่าพลังงานสุทธิ

การคำนวณค่าพลังงานสุทธิ เป็นการหาความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์ กับ พลังงาน ที่ใช้ในการผลิต หรือเป็นการคิดพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปกับพลังงานที่ได้หลัง จบสิ้นกระบวนการ โดยพลังงานที่ได้สามารถวัดได้จากค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV) หรือค่าความร้อนสูง (High Heating Value: HHV) สามารถคำนวณ ได้ดัง สมการ 2.25

$$NEC = EC_{Output} - EC_{Input} \quad (2.25)$$

เมื่อ NEC คือ การใช้พลังงานสุทธิ (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
 EC_{Output} คือ พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วย (เมกะจูล)
 EC_{Input} คือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปทั้งหมดในกระบวนการผลิต
เชื้อเพลิง 1 หน่วย (เมกะจูล)

2.11 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost) เป็นการประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอด ช่วงชีวิตหรืออายุการใช้งานของระบบที่ทำการศึกษา ซึ่งเกิดจากทั้งต้นทุนทางตรงและทางอ้อม เพื่อ สามารถทำให้มองเห็นต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.11.1 ขั้นตอนการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

Yoshio และ Marvin 1999 ได้แบ่งขั้นตอนในการประเมินออกเป็น 6 ขั้นตอนได้แก่

- 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition) เป็นการระบุถึงลักษณะของระบบที่จะทำการศึกษาหรือเงื่อนไขของระบบวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องการศึกษาเป็นต้น
- 2) การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition) เป็นการมองภาพรวมของระบบว่าในระบบที่ศึกษาในแต่ละขั้นตอนมีต้นทุนย่อยๆอะไรบ้าง
- 3) การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling) เปรียบเสมือนการวางแผนหรือการกำหนดกลยุทธ์ในการดำเนินการเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง
- 4) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection) เมื่อทราบค่าใช้จ่ายจากขั้นตอนที่ 2 ทำการประมาณค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดวงจรชีวิตว่าเป็นเท่าใดโดยเลือกใช้วิธี Known factor or rate หากทราบราคาจะคิดคำนวณตามอัตรานั้นวิธี Cost Estimating Relationships จะประมาณราคาจากข้อมูลในอดีตที่มีอยู่และวิธี Expert opinion ถ้าให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินราคา
- 5) การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development) ใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณมูลค่าการลงทุน และค่าใช้จ่ายแต่ละปีแปลงให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth: PW) ณ ปีที่เราทำการศึกษา โดยสามารถเลือกใช้การวิเคราะห์ที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะนั้น ข้อมูลที่เก็บรวบรวมประกอบด้วย ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละกระบวนการย่อย โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.26

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S \quad (2.26)$$

เมื่อ	C_C	คือ ต้นทุนในการลงทุน (บาท)
	C_O	คือ ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)
	C_M	คือ ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)
	C_F	คือ ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)
	C_R	คือ ต้นทุนในการแทนที่และทำลายทิ้ง (บาท)
	S	คือ มูลค่าซาก (บาท)

จากนั้นจะทำการหาต้นทุนต่อหน่วยการทำงาน คือ 1 kWh ในการผลิตไฟฟ้าจากขยะ ได้จากสมการที่ 2.27

$$\frac{\text{ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต}}{\text{การผลิตไฟฟ้า 1 kWh}} = \frac{\text{ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (บาท)}}{\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (kWh)}} \quad (2.27)$$

2.12 การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวัดค่าระดับของการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด กระบวนการที่ว่านี้ได้รับการคิดค้นเมื่อปลายทศวรรษที่ 1970 โดยศาสตราจารย์ Thomas Saaty แห่งมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่างๆ มากมาย เช่น การเลือกสถานที่ในการประกอบการ การกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด การจัดลำดับความสามารถของพนักงาน การประเมินทางเลือกของสายอาชีพ การสำรวจทัศนคติของพนักงาน ฯลฯ

2.12.1 จุดเด่นของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

- 1) ให้ผลการสำรวจน่าเชื่อถือกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ในการตัดสินใจ ก่อนที่จะลงมือตอบคำถาม
- 2) มีโครงสร้างที่เป็นแผนภูมิลำดับชั้น เลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์ ทำให้ง่ายต่อการใช้และการทำความเข้าใจ
- 3) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญ และยังสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบ (Benchmarking) กับหน่วยงานอื่นๆ ได้
- 4) สามารถจัดการตัดสินใจแบบมีอคติหรือลำเอียงออกไปได้
- 5) ใช้ได้ทั้งกับการตัดสินใจแบบคนเดียวและแบบที่เป็นกลุ่มหรือหมู่คณะ
- 6) ก่อให้เกิดการประนีประนอมและการสร้างประชาคมติ
- 7) ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญพิเศษมาคอยควบคุม

2.12.2 ขั้นตอนการตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

AHP (Analysis Hierarchy Process) เป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมาก เริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบ “ความสำคัญ” ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อหา “น้ำหนัก” ของแต่ละเกณฑ์ก่อน หลังจากนั้นจึงนำ “ทางเลือก” ที่มีทั้งหมดมาประเมินผ่านเกณฑ์ดังกล่าว เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) สร้างแผนภูมิลำดับชั้นหรือแบบจำลองของการตัดสินใจ โดยระดับชั้นที่ 1 หรือระดับบนสุด แสดงจุดโฟกัสหรือเป้าหมายของการตัดสินใจ ระดับชั้นที่ 2 แสดงถึงเกณฑ์การตัดสินใจหลัก ที่มีผลต่อเป้าหมายในการตัดสินใจนั้น และระดับชั้นที่ 3 ลงมา แสดงถึงเกณฑ์ย่อยของการตัดสินใจ ซึ่งจะมีจำนวนเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับความชัดเจนของเกณฑ์

หลัก (อาจไม่จำเป็นต้องมี ถ้าเกณฑ์หลักมีความชัดเจนเพียงพอ) ส่วนระดับชั้นล่างสุด หรือระดับชั้นสุดท้าย คือทางเลือกที่เราจะนำมาพิจารณาผ่านเกณฑ์การตัดสินใจตามที่เรากำหนดไว้ โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาในด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และ เศรษฐศาสตร์ ส่วนระดับชั้นล่างสุด หรือระดับชั้นสุดท้าย คือทางเลือกที่เราจะนำมาพิจารณาผ่านเกณฑ์การตัดสินใจตามที่เรากำหนดไว้ โดยทางเลือกในงานวิจัยนี้ คือ เทคโนโลยีเตาเผา เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เทคโนโลยีเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิง และ สุดท้ายคือเทคโนโลยีเชื้อเพลิงแท่งร่วมกับเทคโนโลยีวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แบบจำลองการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม

2) สร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นคู่ โดยกำหนดมาตราส่วนในการเปรียบเทียบดังนี้

ถ้า $a_{ij} = \frac{1}{3}$ หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญน้อยกว่า A_j

ถ้า $a_{ij} = 1$ หมายถึง ปัจจัย A_i และ A_j มีความสำคัญเท่ากัน

ถ้า $a_{ij} = 3$ หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j

3) คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การประเมิน สามารถทำได้โดยการปรับ “ผลรวม” ของแต่ละคอลัมน์ให้เท่ากับ 1 จากนั้นก็คำนวณผลรวมของแต่ละแถว และหารผลรวมดังกล่าวด้วย “จำนวน” ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ ซึ่งในกรณีนี้คือ 3 ประกอบด้วย พลังงาน สิ่งแวดล้อม และต้นทุน