

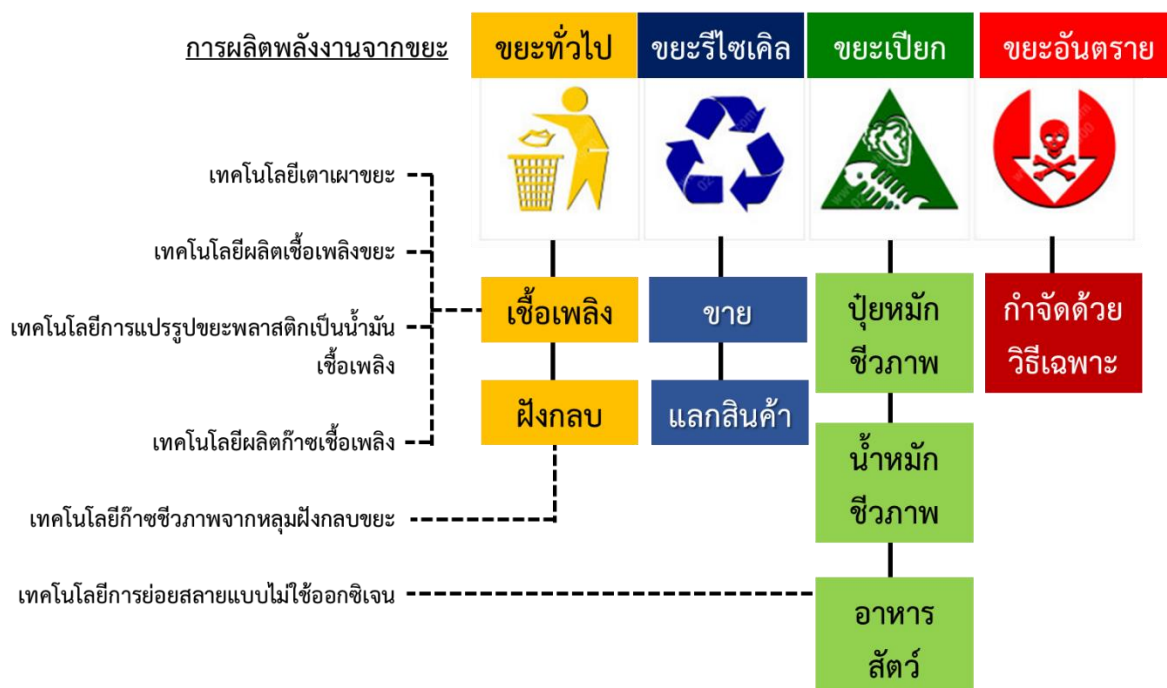
บทที่ 19 รายละเอียดข้อมูลเชื้อเพลิงชีวภาพประเภท ขยะมูลฝอย (Waste)

1. ข้อมูลทั่วไป ^[1]

ขยะ (Waste) หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและการอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว จำแนกตามลักษณะของขยะ มี 4 ประเภท โดยขยะแต่ละประเภทมีแนวทางในการกำจัดที่แตกต่างกัน ดังนี้

- ขยะอินทรีย์ เป็นสิ่งที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย เช่น เศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ ใบไม้ สามารถกำจัดได้โดยนำไปทำปุ๋ยหมักชีวภาพ น้ำหมักชีวภาพ อาหาร
- ขยะรีไซเคิล เป็นสิ่งที่ยังมีประโยชน์สามารถนำกลับมาแปรรูปใหม่ได้ เช่น แก้ว ขวดพลาสติก กระดาษสามารถนำไปขายหรือแลกสินค้าได้
- ขยะอันตราย เป็นสิ่งที่ประกอบด้วยสารอันตราย เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ กระป๋องสเปรย์ สามารถกำจัดด้วยวิธีเฉพาะ
- ขยะทั่วไป เป็นสิ่งที่ไม่คุ้มค่าในการแปรรูปกลับมาใช้ใหม่ เช่น เศษผ้า ซองบะหมี่ สามารถนำไปทำเชื้อเพลิงหรือกำจัดด้วยวิธีฝังกลบ

ปัญหาในด้านการจัดการกับขยะได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการเติบโตและการขยายตัวของเมือง นอกจากนี้หน่วยงานที่รับผิดชอบยังขาดความพร้อม ทั้งทางด้านงบประมาณ เครื่องมือและอุปกรณ์ บุคลากรและสถานที่ที่เพียงพอที่ใช้ในการกำจัดขยะ จึงกำจัดขยะส่วนใหญ่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน เพื่อเพิ่มมูลค่าจากขยะที่ทิ้งจึงได้มีการผลิตพลังงานจากขยะในรูปของไฟฟ้าและความร้อน นอกจากนี้ยังช่วยปัญหาในการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานจากขยะแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวทางการจัดการขยะจากแหล่งต้นทางสู่ปลายทาง

2. กระบวนการผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอย ^[1]

เทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- **เทคโนโลยีความร้อน** เป็นกระบวนการที่ทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการแตกสลายตัวด้วยความร้อน ได้แก่ เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator) เทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชัน (Pyrolysis/Gasification) เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)
- **เทคโนโลยีชีวภาพ** เป็นกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ได้แก่ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)
- **เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ** เป็นการเปลี่ยนรูปขยะ โดยการคัดเลือกองค์ประกอบของขยะมาสู่กระบวนการคัดแยกและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานต่อไป ได้แก่ เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยด้วยการอบไอน้ำ (Autoclaving for RDF)

2.1 การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางความร้อน (Thermal Conversion Process)

2.1.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incinerator)

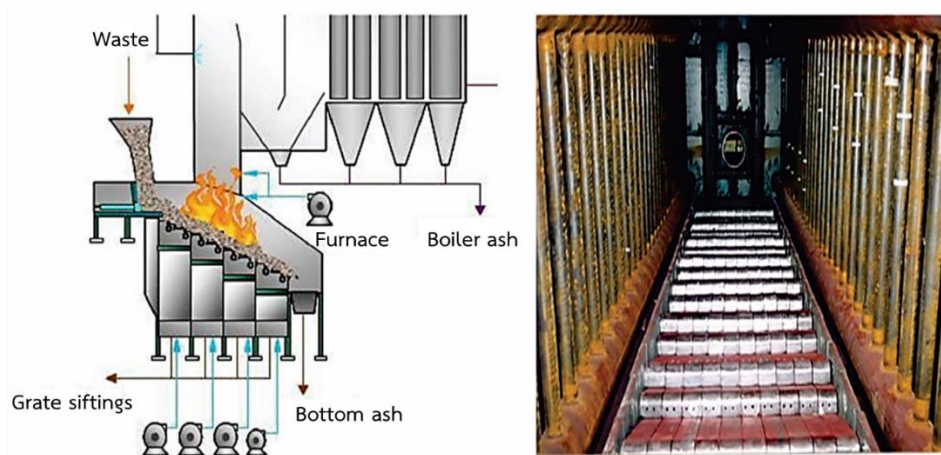
Incineration เป็นการเผาขยะในเตาที่ได้มีการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้เข้ากับลักษณะสมบัติของขยะ ที่มีอัตราความชื้นสูงและมีค่าความร้อนที่แปรผันได้ การเผาไหม้จะต้องมีการควบคุมที่ดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษและการรบกวนต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซพิษ เเขม่า กลิ่น เป็นต้น ก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะได้รับการกำจัดเเขม่าและอนุภาคตามที่กฎหมายควบคุม ก่อนที่จะส่งออกสู่บรรยากาศ โดยจะมีขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร และร้อยละ 25-30 โดยน้ำหนักของขยะที่ส่งเข้าเตาเผา ซึ่งจะถูกนำไปฝังกลบหรือใช้เป็นวัสดุปูพื้นสำหรับการสร้างถนน ส่วนขี้เถ้าที่มีส่วนประกอบของโลหะอาจถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนั้นสามารถที่จะนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมาใช้ในการผลิตไอน้ำ หรือทำน้ำร้อน หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้

ระบบการเผาไหม้โดยใช้เตาเผาขยะชุมชน (Incineration) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท โดยจำแนกตามการเตรียมขยะก่อนเข้าเตาเผา ประเภทแรกเป็นการเผาขยะโดยไม่ต้องมีกระบวนการจัดการเบื้องต้นหรือการเผาไหม้มวล (Mass burn system) และระบบการเผาขยะที่มีการจัดการเบื้องต้น (Burning of preheated and homogenized waste)

การเผาไหม้มวล เป็นการเผาไหม้ขยะที่มีองค์ประกอบหลากหลายโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการจัดการเบื้องต้น โดยเตาเผาที่ใช้ในระบบนี้ ได้แก่ เตาเผาแบบตะกรันที่เคลื่อนที่ได้ (Moving grate) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถรองรับการเผาทำลายขยะที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่หลากหลาย ส่วนเทคนิคที่ได้รับความนิยมรองลงมาคือเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) ซึ่งเป็นระบบที่มีการจัดการขยะในเบื้องต้นก่อนทำการเผา เช่น การลดขนาด การบดตัดและการคัดแยก ซึ่งเทคนิคนี้มีการใช้งานในวงที่จำกัดเนื่องจากจะต้องมีการจัดการขยะก่อนทำการเผา และเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) จัดเป็นเทคนิคที่ใหม่และมีการใช้งานในวงจำกัด ส่วนใหญ่ใช้ในการกำจัดขยะจากอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีเตาเผาแบบตะกรับ (Moving grate) เป็นเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบการเผาไหม้มวล เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วยตะกรับที่สามารถเคลื่อนที่ได้และมีการเผาไหม้อยู่บนตะกรับนี้ โดยขณะเผาไหม้ตะกรับจะเคลื่อนที่และลำเลียงขยะจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย

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

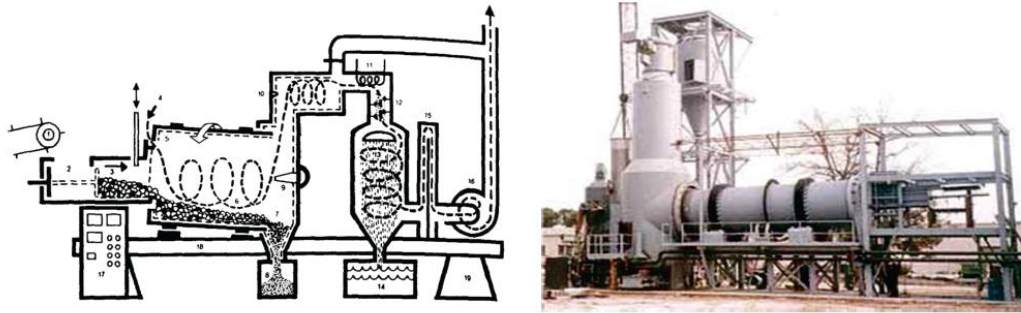


ภาพที่ 2 เตาเผาแบบตะกรับ ^[1]

1) เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln incinerator)

ระบบเตาเผาแบบหมุน เป็นการเผาไหม้มวลของขยะมูลฝอยโดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน โดยขยะจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ เตาเผาแบบหมุนส่วนใหญ่จะเป็นแบบผนังอิฐทนไฟแต่ก็มีบ้างที่เป็นแบบผนังน้ำ ทรงกระบอกอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และยาวตั้งแต่ 8 ถึง 20 เมตร ความสามารถในการเผาทำลายขยะมูลฝอยมีตั้งแต่ 2.4 ตันต่อวัน (0.1 ตันต่อชั่วโมง) จนถึงประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง)

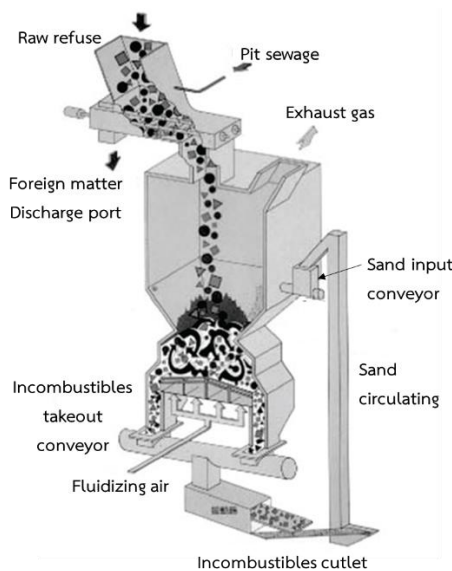
อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้จะมีปริมาณที่มากกว่าแบบที่ใช้กับเตาเผาแบบตะกรับ และอาจจะมีมากกว่าที่ใช้กับเตาเผาแบบปลู๊ตไดซ์เบด สิ่งที่ตามมาก็คือ เตาเผาแบบหมุนจะมีประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากว่าเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (Retention time) ของก๊าซไอเสียค่อนข้างสั้นเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเตาทรงกระบอกจึงมักมีส่วนต่อที่ทำเป็นห้องเผาไหม้หลัง (After-Burning chamber) และมักจะรวมอยู่ในส่วนของหม้อน้ำด้วย



ภาพที่ 3 เตาเผาแบบหมุน

2) เทคโนโลยีเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed)

เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดทำงานโดยอาศัยหลักการที่อนุภาคของแข็งที่รวมตัวเป็น Bed (วัสดุที่เติมเข้าไปในเตาเพื่อตัวกลางในการนำความร้อนและช่วยให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง) ในเตาเผาผสมเข้ากับขยะมูลฝอย ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ถูกทำให้ลอยตัวขึ้นอันเนื่องมาจากอากาศที่เป่าเข้าด้านล่าง ทำให้มันมีพฤติกรรมเหมือนกับของไหล เตาเผาโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตั้ง และวัสดุที่ทำ Bed มักทำมาจากทราย ซิลิกา หินปูน หรือวัสดุเซรามิกการใช้งานเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดอยู่ในขั้นเริ่มต้นเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอยู่อย่างสม่ำเสมอโดยเตาเผามีข้อได้เปรียบที่สามารถลดปริมาณสารอันตรายได้ใน Bed และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลากหลายประเภท ข้อเสียเปรียบหลักของเตาเผาแบบนี้คือการกระบวนกรในการจัดการขยะมูลฝอยเบื้องต้นก่อนที่จะสามารถป้อนเข้าสู่เตาเผาได้ เพื่อให้ขยะมูลฝอยมีขนาด ค่าความร้อน ปริมาณขี้เถ้าที่อยู่ข้างในและอื่นๆ เพื่อให้ตรงต่อข้อกำหนดในการปฏิบัติงานของเตาเผา และเนื่องจากขยะมูลฝอยมีลักษณะสมบัติที่หลากหลายจึงทำให้เกิดความยากลำบากในการทำให้ได้เชื้อเพลิงที่ตรงตามความต้องการ



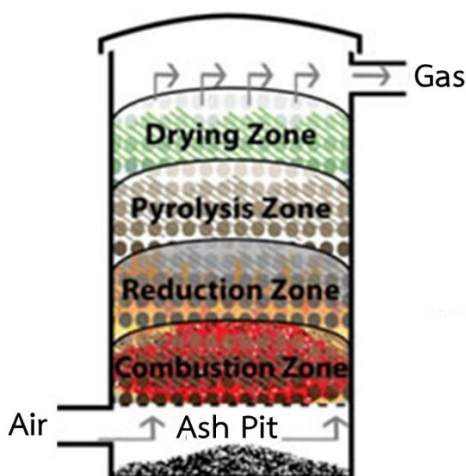
ภาพที่ 4 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

2.1.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (MSW gasification)

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชนหรือเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชัน (Pyrolysis/Gasification) เป็นกระบวนการทำให้ขยะมูลฝอยเป็นก๊าซโดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ กล่าวคือสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนปริมาณจำกัด ทำให้เกิดก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน เรียกว่า Produce gas ซึ่งในกรณีที่ใช้อากาศเป็นก๊าซทำปฏิกิริยาก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนต่ำประมาณ 3-5 MJ/Nm³ แต่ถ้าใช้ออกซิเจนเป็นก๊าซทำปฏิกิริยา ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนสูงประมาณ 15-20 MJ/Nm³ เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier สามารถแบ่งออกได้เป็น Downdraft, Updraft, Cross-Current และ Fluid Bed Gasifier ดังนี้

1) Updraft Gasifier

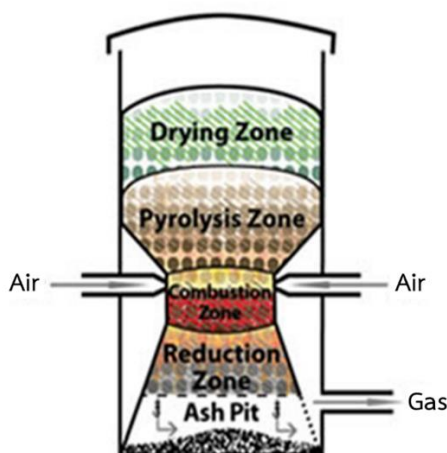
เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเครื่องและอากาศจะถูกส่งผ่านตะแกรงเข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้น ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า Combustion zone เมื่ออากาศผ่านเข้าไปบริเวณ Combustion zone จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion zone จะมีอุณหภูมิสูงและจะถูกส่งผ่านไปยัง Reduction zone ซึ่งเป็นโซนที่มีปริมาณคาร์บอนมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นของเชื้อเพลิง และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200-500 °C หลังจากนั้นก๊าซก็จะไหลเข้าสู่ชั้นของเชื้อเพลิงที่ขึ้น เนื่องจากก๊าซยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงไประเหยน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงเหล่านั้น ทำให้ก๊าซที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำลง สารระเหยและน้ำมันที่ที่เกิดขึ้นในช่วงการกลั่นสลายจะติดออกไปกับก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น ดังนั้นก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft gasifier จะมีปริมาณของน้ำมันทาร์มาก บางครั้งอาจมีมากถึง 20% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิส ชีวมวลก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft gasifier มีอุณหภูมิต่ำและไม่สูงนักและมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์มากทำให้มีค่าความร้อนมาก จำเป็นต้องมีหน่วยทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงก่อนนำเชื้อเพลิงไปหมunkังหน้ก๊าซ ข้อดีหลักของเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft gasifier คือ ติดตั้งง่ายและมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง



ภาพที่ 5 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft gasifier ^[2]

2) Downdraft gasifier

เครื่องปฏิกรณ์ Gasifier ชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันทาร์ในก๊าซเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ อากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างผ่านกลุ่มของหัวฉีดซึ่งเรียกว่า Tuyers บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณของโซน Combustion ก๊าซที่ได้จากโซน Combustion จะถูก Reduced ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างและผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนซึ่งอยู่เหนือตะแกรงเล็กน้อย ขณะเดียวกันในชั้นของเชื้อเพลิงที่อยู่ทางด้านบนของโซน Combustion จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากทำให้เกิดการกลั่นสลาย และน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน ทำให้น้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวเป็นก๊าซ ซึ่งการแตกตัวนี้จะเกิดที่อุณหภูมิคงที่ในช่วงระหว่าง 800-1,000°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 °C Updraft gasifier และ Downdraft gasifier ปฏิกริยาดูดความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิต่ำลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ปฏิกริยาคายความร้อนจะทำให้ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซที่ผ่านโซน Combustion จะมีส่วนประกอบของน้ำมันทาร์ลดลงเหลือน้อยกว่า 10% ของน้ำมันทาร์ที่ได้จาก Updraft gasifier และก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะสะอาดกว่าการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft gasifier นี้ง่าย และมีความน่าเชื่อถือสำหรับเชื้อเพลิงที่แห้ง (มีความชื้นต่ำกว่า 30 %) เนื่องจากว่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณน้ำมันทาร์ต่ำ เครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft gasifier จึงเหมาะกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่มีขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 500 kg/hr หรือ 500 kWe



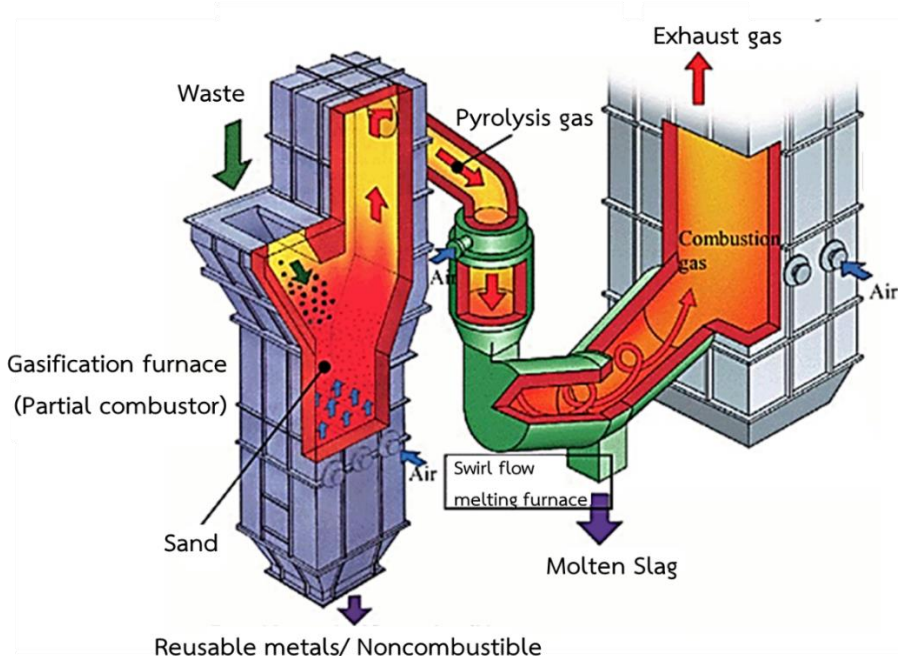
ภาพที่ 6 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Downdraft Gasifier^[3]

3) Fluid bed Gasifier

การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จะเกิด Slag มากเกินไป จึงก่อให้เกิดการอุดตันในเครื่องปฏิกรณ์บ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid bed gasifier ขึ้น เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านให้สูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายกับของไหล ภายในเครื่องปฏิกรณ์จะใส่วัสดุเฉื่อย (Inert material) ซึ่งอาจเป็น หิน อลูมินา หรือออกไซด์ของโลหะที่ทนความร้อนสูงและไม่เกิดการหลอมรวมตัวกัน โดยมีแผ่นที่เจาะรูมารองรับตัวกลางเหล่านี้ที่ตอนล่างของเครื่องปฏิกรณ์แผ่นที่เจาะรูนี้จะช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวแบบฟลูอิดไดเซชันอย่างทั่วถึงของเบดโดยการผ่านอากาศหรือออกซิเจนเข้าสู่ตอนล่างของแผ่นรองรับ ซึ่งความเร็วของอากาศหรือออกซิเจนที่ผ่านเข้าไปต้องมีค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวกลางมีสภาพแขวนลอย (Suspension) โดยปกติเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงภายในเบด ปฏิกริยา Gasification อาจเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นที่ว่างเหนือเบด หรือที่เรียกว่า บริเวณ Freeboard โดยเป็นปฏิกริยาของ

อนุภาคเชื้อเพลิงเล็กๆ ที่ปลิวหลุดออกมาจากเบตหรือเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนของน้ำมันทาร์ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid bed gasifier จะมีปริมาณน้ำมันทาร์ อยู่ระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบ Updraft gasifier และ Downdraft gasifier ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid bed gasifier คือการสูญเสียสภาพฟลูอิดไดเซชันเนื่องจากโลหะอัลคาไลน์จากเถ้าของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น (เช่น โซเดียมคาร์บอเนต หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต) จะรวมตัวกับซิลิกาในทรายซึ่งนิยมใช้เป็นตัวกลางในเบต เกิดเป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้ตัวกลางหลอมรวมกัน สูญเสียสภาพฟลูอิดไดเซชันไป อย่างไรก็ตามการสูญเสียคาร์บอนที่ติดไปกับเถ้าอย่างมาก ทำให้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid bed gasifier ไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ สำหรับการใช้งานขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงไปด้วย

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid bed gasifier มีข้อดี คือ มีการผสมที่ปั่นป่วนมาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าสูง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและสามารถควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ได้ค่อนข้างง่าย ข้อเสียของเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้คือก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นถ่านชาร์ออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าสูงจึงต้องนำ Cyclone มาใช้กับระบบด้วย

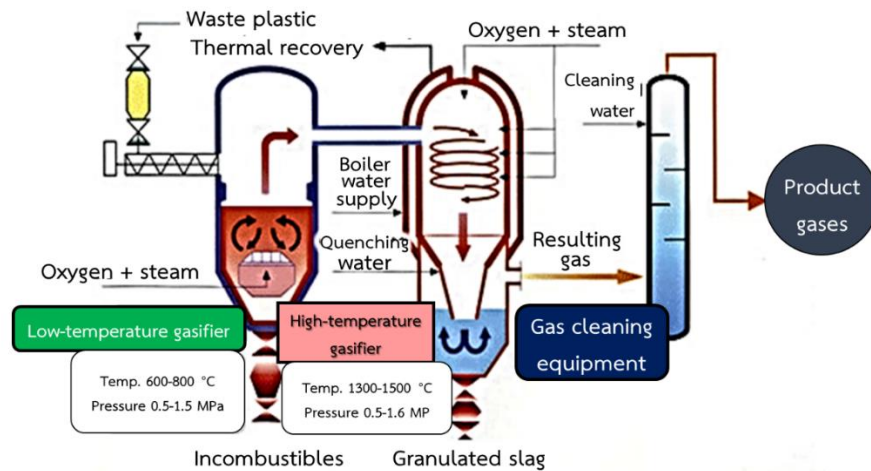


ภาพที่ 7 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Fluid bed gasifier ^[4]

4) Circulating fluid bed gasifier

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Circulating fluid bed gasifier พัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Carbon conversion โดยอนุภาคเชื้อเพลิงจะถูกรีไซเคิลกลับมายังเบต โดยความเร็วในการฟลูอิดไดเซชันจะต้องสูงพอที่จะทำให้อนุภาคลอยในปริมาณมาก

Pressurized twin internally circulating fluidized-bed gasification system (PTIFG)

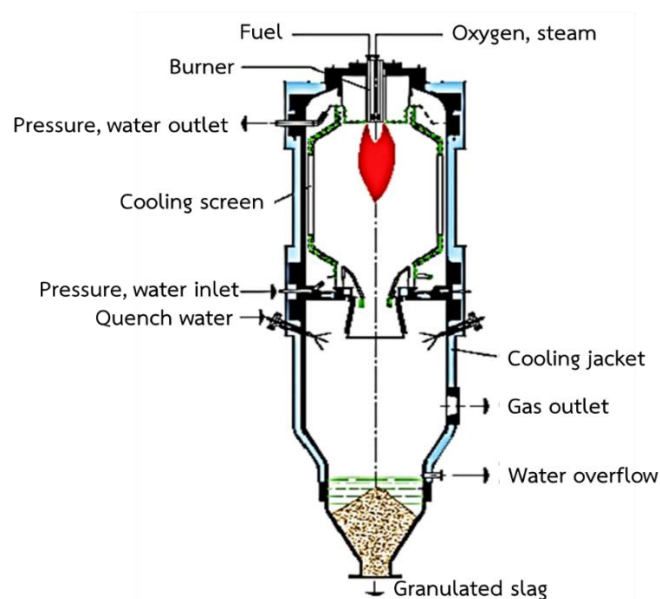


ภาพที่ 8 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Circulating fluid bed Gasifier ^[5]

<http://www.eep.ebara.com/en/products/gas.html>

5) Entrained bed gasifier

ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained bed gasifier จะไม่มีวัสดุ Inert แต่เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องลดขนาดให้เล็กมาก โดยปกติเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้จะเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,200-1,500 °C ซึ่งขึ้นกับว่าจะใช้อากาศหรือออกซิเจน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีปริมาณน้ำมันาร์และสารไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากต้องเดินเครื่องที่อุณหภูมิสูง จึงมีปัญหาเรื่องการเลือกใช้วัสดุและปัญหาเรื่องการหลอมตัวของถ่าน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained bed gasifier จะให้ค่า Carbon conversion สูงถึง 100% อีกทั้งมีการใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชนน้อย



ภาพที่ 9 เครื่องปฏิกรณ์แบบ Entrained bed gasifier

2.2 การผลิตพลังงานโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ

เทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในขยะมูลฝอยด้วยจุลินทรีย์และทำให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือเทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

2.2.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การใช้เทคโนโลยีไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชนเป็นเรื่องใหม่ แม้ในประเทศพัฒนาแล้ว ก็เป็นเรื่องที่ทำการมานานนับทศวรรษ สำหรับประเทศไทยการคัดแยกขยะชุมชนเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเพื่อแยกวัสดุที่ขายได้ เช่น ขวดพลาสติก แก้ว ฯลฯ ทำให้ขยะที่ส่งไปเก็บที่กองขยะต่างๆ มีสัดส่วนของสารอินทรีย์อยู่มากจนสามารถเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้

แม้ว่าการย่อยสลายขยะชุมชนแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมีหลักการเดียวกับการบำบัดน้ำเสียต่างๆ แต่ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการย่อยสลายขยะชุมชนมีมากกว่าเนื่องจากน้ำเสียและของเสียต่างๆ มีลักษณะแตกต่างกัน โดยที่ขยะชุมชนจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งขนาดใหญ่และอยู่ภายใต้สภาวะที่เรียกว่า “แห้งกว่า” น้ำเสียต่าง ๆ มาก การย่อยสลายขยะจึงมีขั้นตอนการบดขยะและขั้นตอนการลดขนาดของของแข็งอินทรีย์ จากนั้นจึงเป็นกลไกปกติของการย่อยสลายภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

ขั้นตอนการทำงานของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยชุมชนประกอบด้วย

1. การบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment/Front-end treatment) ซึ่งประกอบด้วย การคัดแยก (Sorting) ขยะมูลฝอยอินทรีย์จากขยะมูลฝอยรวม หรือการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ และลดขนาด (Size reduction) ของขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอ (Homogeneity) ของสารอินทรีย์ที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed substrate) รวมทั้งเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบ ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดขั้นต้นสำหรับเทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ (1) Dry separation process ซึ่งมักจะใช้ Rotary screen เป็นอุปกรณ์สำคัญในการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ และใช้ Shredder ในการบดย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้มีขนาดเหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย (2) Wet separation process จะใช้หลักการคัดแยกสิ่งปะปนออกจากขยะมูลฝอยอินทรีย์โดยวิธีการจม-ลอย (Sink-float separation) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์สำคัญที่เรียกว่า Pulper ทำหน้าที่ในการคัดแยกและบดย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์

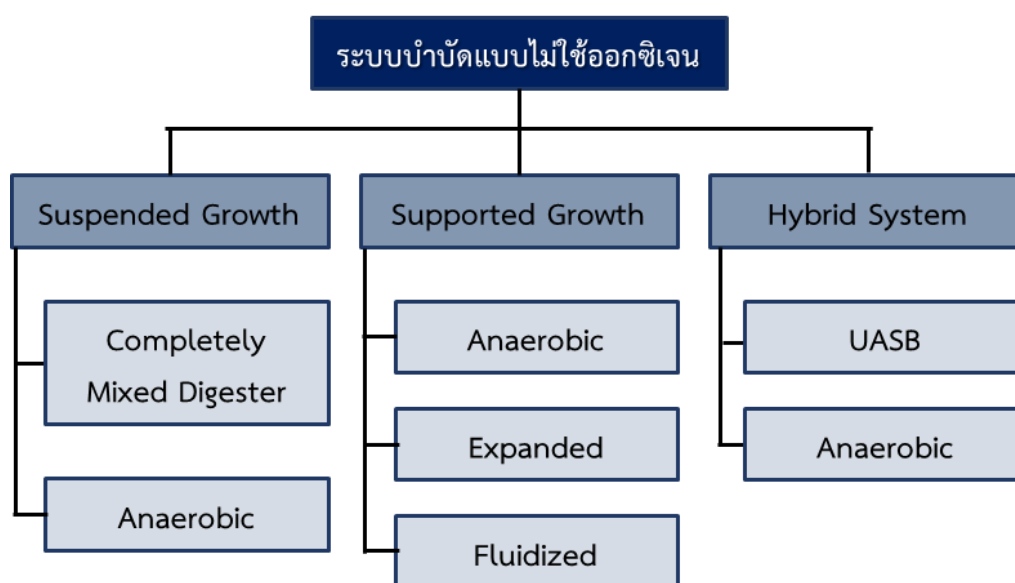
2. การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ซึ่งเป็นขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์สำหรับนำไปใช้เป็น พลังงาน และเพื่อทำให้ขยะมูลฝอยอินทรีย์ถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น ปราศจากเชื้อโรคและเมล็ดวัชพืช โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน ซึ่งขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทหลักๆ คือ Dry digestion process และ Wet digestion process ซึ่งมีการควบคุมการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ให้เป็นประมาณร้อยละ 20-40 และน้อยกว่าร้อยละ 20 ตามลำดับ

3. การบำบัดขั้นหลัง (Post-treatment) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นขั้นตอนการจัดการกากตะกอนจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้มีความคงตัวมากขึ้น เช่น การนำไปหมักโดยใช้ระบบหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน รวมทั้งการคัดแยกเอาสิ่งปะปนต่างๆ เช่น เศษพลาสติกและเศษโลหะออกจาก Compost โดยใช้ตะแกรงร่อน

ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพของ Compost ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช เช่น การอบเพื่อฆ่าเชื้อโรคและลดความชื้น เป็นต้น

รูปแบบของถังบำบัดกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศ อาจใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของถังหมัก แต่ไม่ว่าวัตถุประสงค์จะเป็นเช่นใดก็ตาม กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศก็มักมีลักษณะสำคัญร่วมกัน คือ สามารถสร้างก๊าซชีวภาพจากสารอินทรีย์ กระบวนการบำบัดสลัดจ์มักเป็นถึงรูปแบบเดียวคือถังย่อยสลัดจ์ (Sludge digestion tank) ส่วนรูปแบบอื่นๆ มักใช้ในการบำบัดน้ำเสียถึงหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจากถังหมักธรรมดาจนถึงแบบอัตราสูง รูปแบบของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจจำแนกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ ระบบแบบเลี้ยงเชื้อแขวนลอย (Suspended growth) ระบบแบบเลี้ยงเชื้อเกาะติด (Supported growth) และระบบแบบผสม (Hybrid system)

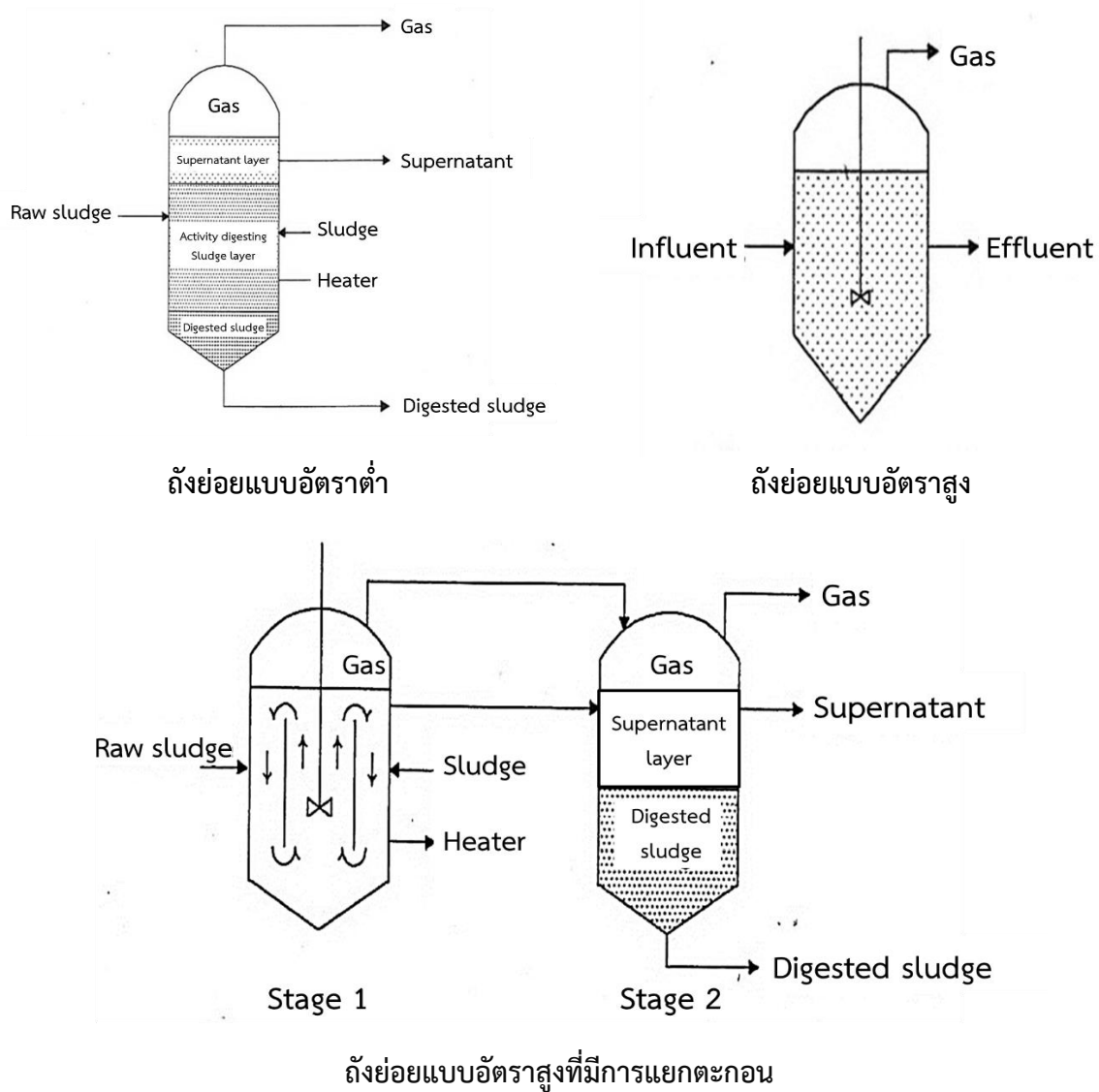


ภาพที่ 10 แผนผังแสดงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศรูปแบบต่างๆ

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ขึ้นอยู่กับรูปแบบของถังหมัก ซึ่งมักมีบำบัดกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศในการบำบัดน้ำเสียหรือบำบัดสลัดจ์ สำหรับเทคโนโลยีการย่อยสลายขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่

1) ถังย่อยสลัดจ์ (บำบัดสลัดจ์)

ระบบถังย่อยที่ไม่มีการกวนตะกอนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับสลัดจ์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังจึงช้าและไม่ทั่วถึง ถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราต่ำ (Low Rate Digester) และระบบถังย่อยที่มีการกวนและมีการปรับอุณหภูมิเพื่อเร่งปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นถังย่อยแบบนี้จึงเรียกว่าถังย่อยแบบอัตราสูง (High rate digester) สำหรับถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีถึง 2 ชุด โดยมีระบบการแยกตะกอนสลัดจ์ออกจากถังย่อยสลัดจ์ชุดที่ 2 ซึ่งทำให้สามารถได้สลัดจ์ย่อยแล้วที่มีความเข้มข้นสูงและปล่อยน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำ (สกปรกน้อย)

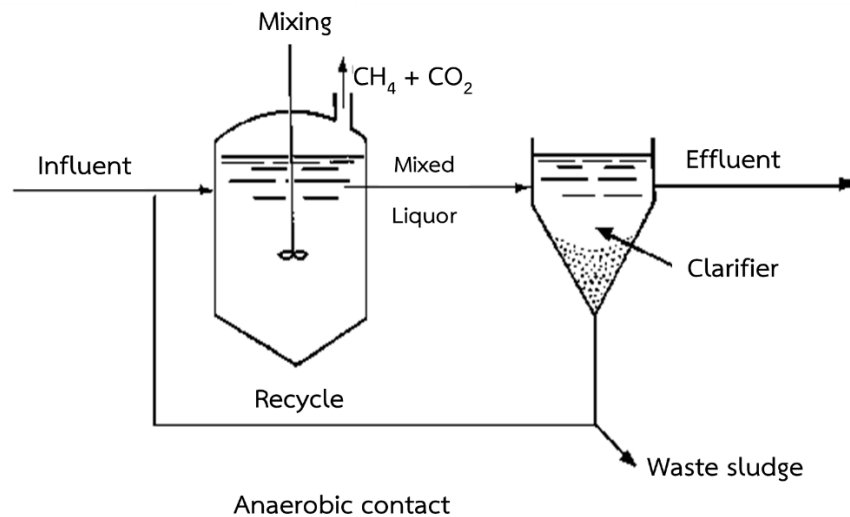


ถังย่อยแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน

ภาพที่ 11 แสดงถังย่อยสลายแบบต่างๆ

2) ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)

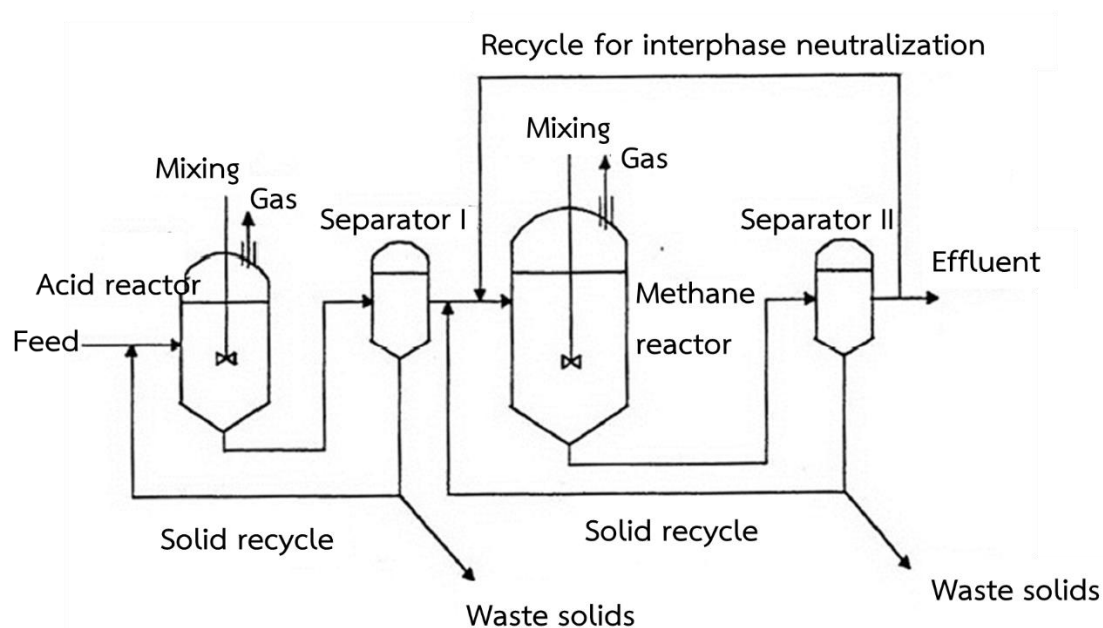
ถังย่อยแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกรณ์แบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังย่อยแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบเอเอส จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังย่อยแบบนี้ว่าเป็นระบบเอเอสแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic activated sludge) อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเหมือนกับระบบเอเอส การสะสมแบคทีเรียให้คงอยู่ในระบบไม่สามารถกระทำได้นี้ เนื่องจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดีเหมือนสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงมีการหลุดหนีของสลัดจ์เกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันระบบถังย่อยแบบสัมผัสมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากไม่เป็นที่นิยม ระบบที่ยังคงใช้ได้จะมีความสามารถในการรับภาระชีโอดีได้ต่ำ



ภาพที่ 12 ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic contact) ^[6]

3) ถังย่อยแบบแยกเชื้อ

การออกแบบถังย่อยแบบแยกเชื้อ เพื่อให้แบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเติบโตอยู่ในถังย่อยคนละใบ ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดจะทำงานได้เต็มกำลังและเป็นการใช้ประโยชน์จากถังปฏิกิริยาให้ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังเชื่อว่าทำให้การควบคุมการทำงานของถังย่อยมีความสะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งจากรูปถังย่อยแบบแยกเชื้อ แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของถังย่อยแบบแยกเชื้อที่ใช้พีเอสเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังย่อย ถังใบแรกซึ่งมีพีเอสประมาณ 6 ซึ่งจะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังที่สองซึ่งมีพีเอสประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างมีเทน การควบคุมพีเอสแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปจากถังเพื่อมิให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างกรด



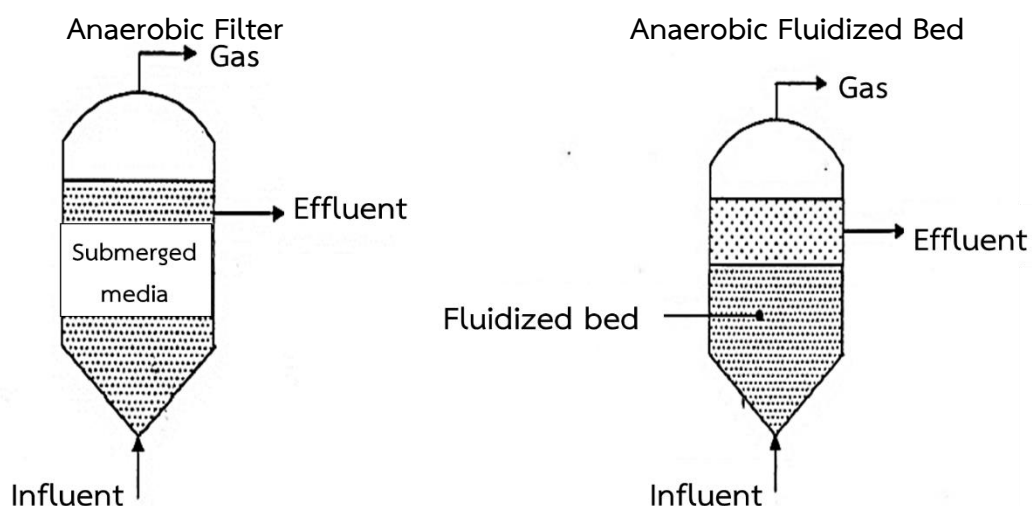
ภาพที่ 13 ถังย่อยแบบแยกเชื้อ

4) ระบบตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศ (AF หรือ Anaerobic filter)

ลักษณะทั่วไปของระบบตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศจะเป็นถังสูงคล้ายถังกรอง ที่บรรจุภายในด้วยหิน ขนาด 1.5-2 นิ้วหรือใช้เป็นตุ้มน้ำพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกรองอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดาเพราะใช้เวลาพักน้ำต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือ ต้องจัดวิธีการกระจายน้ำเสียเข้าถังให้ได้เหมาะสม เรื่องการอุดตันก็เป็นปัญหาเหมือนกันแต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาได้โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนส่งเข้าถังกรองไม่ใช้อากาศถังไม่ใช้อากาศแบบนี้มีข้อดีมากกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวไปแล้ว เนื่องจากมีความสามารถในการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้มีความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ

5) ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB หรือ Anaerobic fluidized bed)

ระบบแบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ ตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนจัดเป็นระบบฟิล์มตรึง (Fixed film) แบบไม่ใช้อากาศที่มีสารตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับเกาะของแบคทีเรีย อัตราไหลของน้ำเสียจะต้องสูงมากจนกระทั่งทำให้มีการลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการได้แก่ ทราย, แอนทราไซด์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก (เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศ) ทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมากอาศัยอยู่ในระบบอัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมากถึงปฏิกิริยาที่ใช้ระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ลักษณะการทำงานซึ่งต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้ จึงยังไม่ได้ได้รับความนิยม

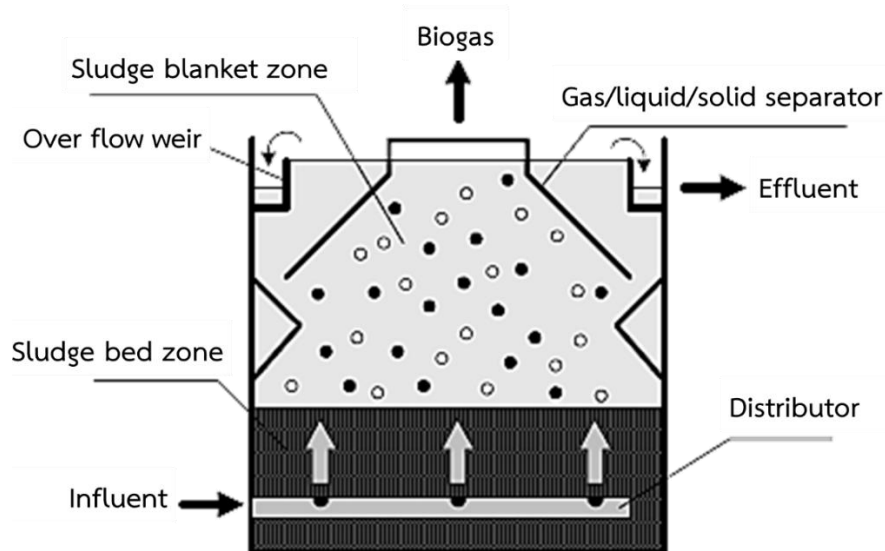


ภาพที่ 14 ระบบตัวกรองแบบไม่ใช้อากาศ (AF หรือ Anaerobic Filter) และระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB หรือ Anaerobic Fluidized Bed)

6) ระบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow anaerobic sludge blanket)

สารตัวกลางอยู่ในระบบเครื่องกรองไม่ใช้อากาศและระบบ AFB ทำให้ถึงปฏิกิริยาต้องเสียปริมาตรใช้งานและเสียเงินซื้อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก วิศวกรจึงคิดค้นระบบยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวกลาง ระบบใหม่นี้มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบน แต่

แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกิริยาจะทำให้เม็ดตะกอนแบคทีเรียมีให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยเสมอ จุดอ่อนของระบบคือการสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องยากและอาจถือว่าเป็นเรื่องไม่ธรรมดา เนื่องจากธรรมชาติของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศไม่มีนิสสเกาะจับกันเป็นกลุ่มฟล็อก วิศวกรที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จอ้างว่า ระบบนี้สามารถรับภาระชีโอดีได้สูงกว่าระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น ๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้ เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากกระบอกได้ดีกว่าแบบอื่น

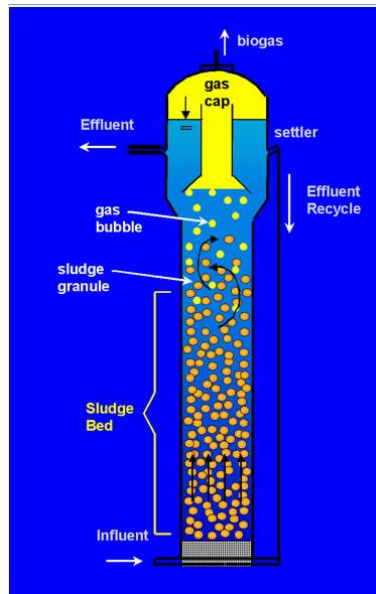


ภาพที่ 15 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ^[7]

7) Expanded granular sludge bed (EGSB)

เป็นระบบ UASB แบบพิเศษ น้ำเสียไหลเข้าถังหมักทางด้านล่างโดยผ่านระบบท่อกระจายน้ำแบบพิเศษ ภายในถังหมักจะมีชั้นนอนของสลัดจ์ที่เป็นเม็ดแบคทีเรียขนาดประมาณเม็ดทราย เม็ดสลัดจ์มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้ดี (ความเร็วในการตกตะกอนประมาณ 60-80 ม./ชม.)

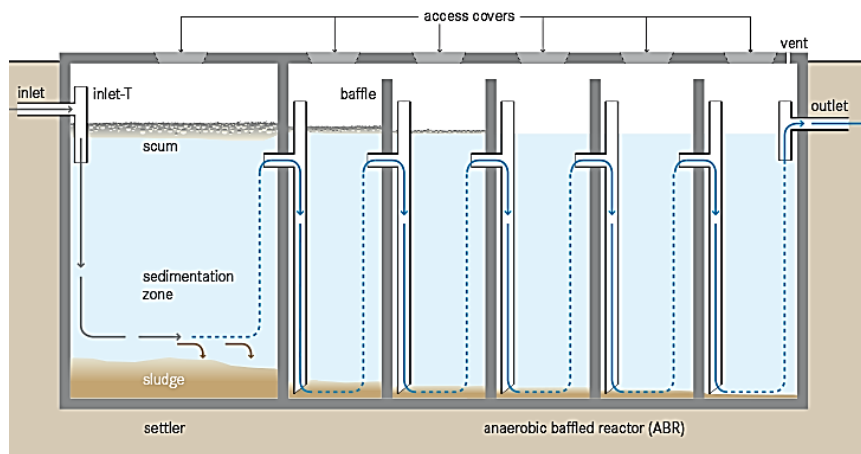
การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นมีเทน เกิดขึ้นภายในชั้นสลัดจ์นอน (Sludge bed) ความสูงของชั้นสลัดจ์นอน ขึ้นอยู่กับความสูงของถังหมัก ซึ่งมักมีค่าอยู่ในช่วง 7-14 เมตร เมื่อน้ำเสียไหลขึ้นมาถึงตอนบน ซึ่งเป็น GSS หรือระบบแยกก๊าซ-ของแข็งแขวนลอย-น้ำ ก๊าซชีวภาพและของแข็งแขวนลอย (SS) จะแยกออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว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



ภาพที่ 16 ระบบ Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) [8]

8) ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ (ABR หรือ Anaerobic baffled reactor)

ลักษณะของระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศคือมีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นมุดลงอยู่ในแนวตั้งถึงปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ ข้อดีของระบบนี้คือเป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมาก ทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ การแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำจึงสามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ใดๆ และก๊าซก็สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ง่ายเช่นกัน ทำให้การเก็บกักเซลล์ได้ดี จึงมีมวลแบคทีเรียสะสมอยู่ในระบบได้มาก การบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยอัตราสูง



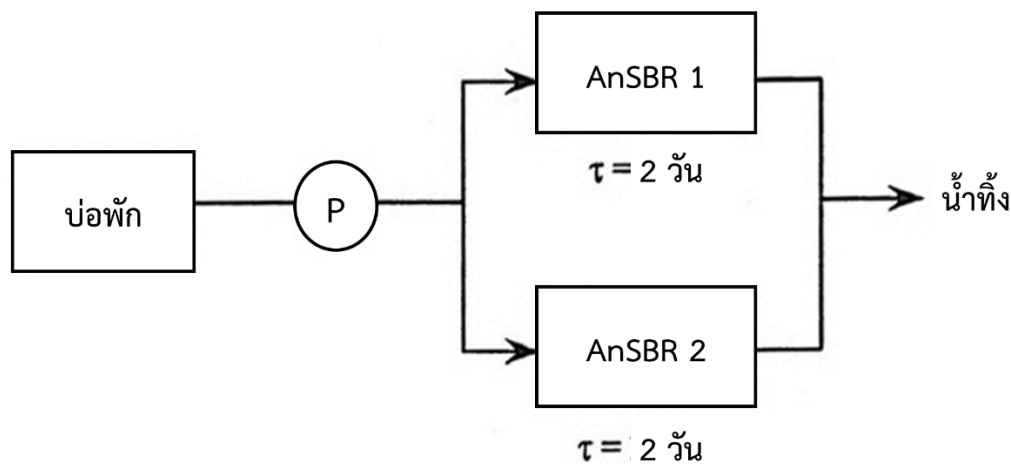
ภาพที่ 17 ระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ (ABR หรือ Anaerobic baffled reactor) [9]

Schematic of the Anaerobic Baffled Reactor. Source: TILLEY et al. (2008)

9) Anaerobic Sequencing Batch Reactor หรือ AnSBR

ระบบ AnSBR ที่มีลักษณะเดียวกับระบบยูเอเอสบีหรือถังหมักไม่ใช้อากาศที่เปิดฝา ไม่มีการกวนน้ำและมีการเติมน้ำเสียเป็นแบบเบตช์ (Batch) การย่อยสลายตัวของชีโอดีทำให้มีก๊าซเกิดขึ้นจนทำให้ชั้นสลัดจ์ฟุ้งทั้งถังคล้ายกับการกวนน้ำด้วยใบพัดกวน เมื่อชีโอดีลดลงปริมาณก๊าซก็ลดลง (จะเห็นได้จากการลดลงของการ

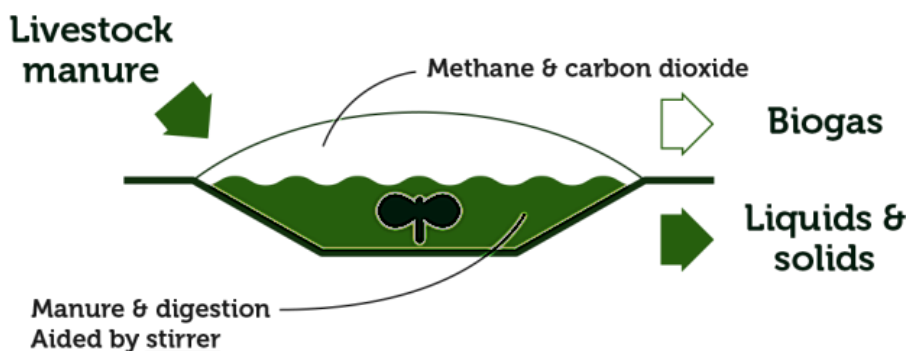
ฟุ้งของชั้นสลัดจ์) ทำให้มีการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ทำให้สามารถแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนออกทิ้งได้ การออกแบบอาจให้รอบการทำงานของแต่ละถังเป็นเวลา 1 วัน (ครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งชั้นสลัดจ์ในถังหมักก็ไม่มี ฟุ้งแล้ว) ตัวอย่างเช่น ให้ถัง AnSBR มีเวลากักน้ำ 2 วัน (เท่ากับปริมาตร 50% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดใน หนึ่งวัน) และใช้เชื้อแบคทีเรียประมาณ 25% ของความจุถัง แม้ว่าระบบนี้ต้องการเวลากักน้ำ 2 วัน ทำให้ Organic loading เท่ากับประมาณ 5-6 กก./ลบ.ม.-วัน แต่ก็ เป็น Loading ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัด น้ำย่อยที่ย่อยยาก ดังเช่นในกรณีของน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอ



ภาพที่ 18 การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR

10) บ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ หรือ Cover lagoon

เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศชนิดที่ง่ายที่สุด โดยมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความ ลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิด มีเวลากักน้ำนานหลาย ๆ วัน ภายในระยะเวลาดังกล่าวน้ำเสียจะถูกย่อยด้วย ปฏิริยาแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากบ่อกักไม่ใช้อากาศมีขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ที่ดินจำนวนมากในการสร้าง นอกจากนั้นยังอาจจะมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อกักไม่ใช้อากาศจึงเหมาะสำหรับใช้ในชนบทหรือชนเมืองที่ซึ่งราคา ที่ไม่สูงนัก และมีผู้คนอาศัยอยู่ไม่หนาแน่นวิศวกรมักออกแบบบ่อกักไม่ใช้อากาศด้วยค่า Organic loading ไม่เกิน 0.5 กก.ซีโอ/ลบ.ม.-วัน ทั้งนี้เพื่อมิให้มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าบ่อกักจะออกแบบได้ดี เพียงใดก็มีโอกาสจะเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเป็นที่น่าสนใจได้เสมอ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามในการปิด บ่อกักไม่ใช้อากาศเพื่อป้องกันเรื่องกลิ่นเหม็น และเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ความก้าวหน้าในทาง วัสดุศาสตร์โดยเฉพาะเรื่องเทคโนโลยีพลาสติกและเรซิน ทำให้สามารถใช้แผ่นพลาสติกที่สามารถเป็นฝา ปกคลุมบ่อกักไม่ใช้อากาศได้ในราคาพอสมควร ข้อดีที่ตามมาจากการปิดบ่อกักอีกประการหนึ่งคือทำให้ สามารถสร้างในพื้นที่ใกล้ชุมชนได้มากกว่าในอดีตและทำให้สามารถออกแบบบ่อกักไม่ใช้อากาศแบบปิดฝา ด้วยค่า Organic loading ที่สูงกว่า 0.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีผลทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง ค่าก่อสร้างที่ลดลง เนื่องจากลดขนาดบ่อมีส่วนทำให้สามารถชดเชยค่าปิดฝาบ่อกักได้บ้าง



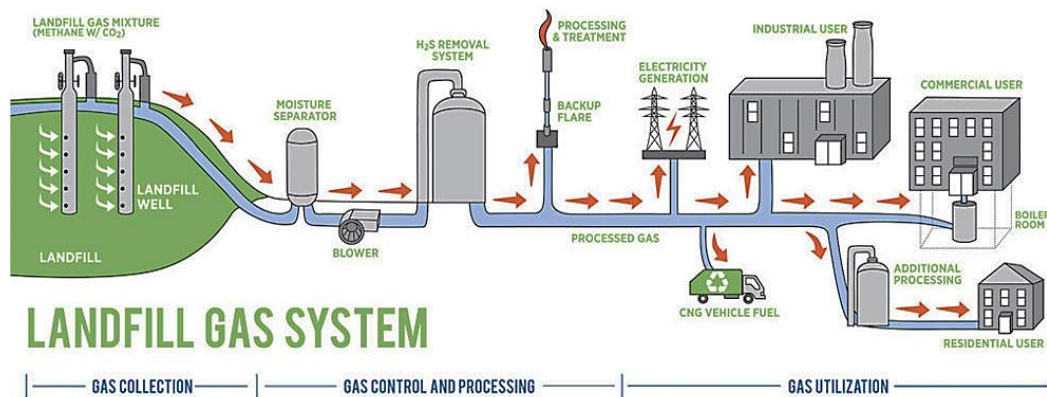
ภาพที่ 19 บ่อหมักไม่ใช้อากาศแบบปิดที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ^[10]

2.2.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะชุมชน (Landfill Gas to Energy Technology)

การกำจัดขยะชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบนั้น เป็นการนำขยะชุมชนมากองหรือฝังกลบในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้แล้วใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้ขยะมูลฝอยยุบตัวลงจนมีความหนาแน่นของชั้นขยะมูลฝอยตามที่กำหนด จากนั้นใช้ดินบดทับและอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงนำขยะมูลฝอยชุมชนมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบทับเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องกลิ่น แผลง น้ำชะขยะ และเหตุเดือนร้อนรำคาญอื่นๆ

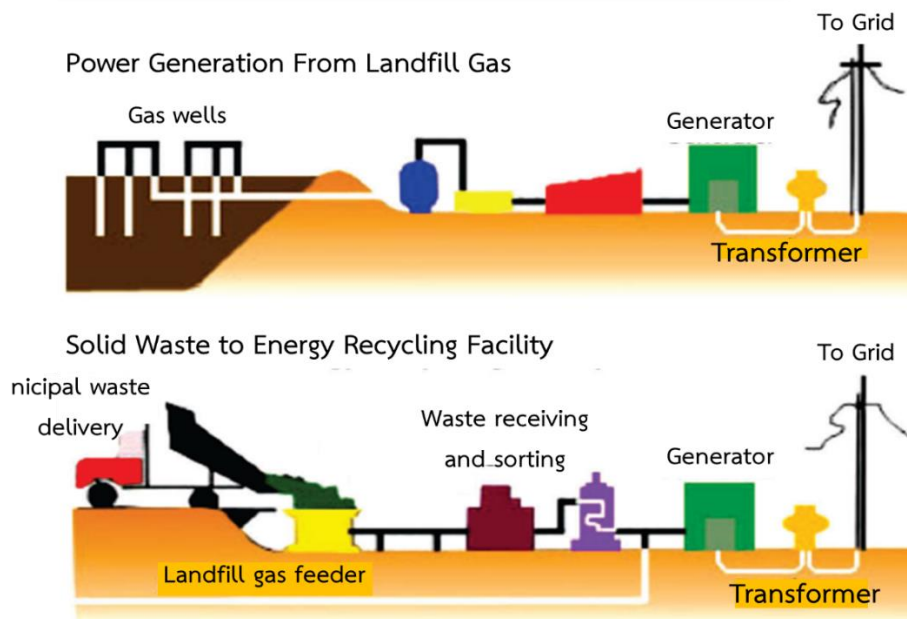
ปฏิบัติการการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกฝังกลบในช่วงแรกจะเป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic decomposition) ซึ่งเป็นการใช้อากาศที่แทรกอยู่ตามช่องว่างภายในบริเวณฝังกลบ และเมื่อออกซิเจนที่มีอยู่หมดลง การย่อยก็จะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซที่เกิดจากปฏิบัติการการย่อยสลายทางเคมีของขยะมูลฝอยในบริเวณหลุมฝังกลบ ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และแอมโมเนีย โดยจะพบก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อก๊าซชีวภาพหรือ Landfill gas (LFG)

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

ภาพที่ 20 Landfill gas system^[11]

1) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill หรือ Conventional landfill) เป็นการพัฒนาระบบฝังกลบขยะมูลฝอยเพื่อลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ภายในหลุมฝังกลบโดยปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตและการระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบประกอบด้วยองค์ประกอบขยะมูลฝอย (Waste composition) สภาพแวดล้อมแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic environment) ความชื้น (Moisture content) สภาพความเป็นกรด (Acidity) และอุณหภูมิ (Temperature)



ภาพที่ 21 การฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

องค์ประกอบหลักของการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลประกอบด้วย ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment system) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระบบรวบรวมน้ำชะขยะ (Leachate collection system) ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

หลักการดำเนินงานทั่วไปสำหรับระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ และการปิดพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล มีรายละเอียดดังนี้

(1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment system) ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยชุมชนให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น ได้แก่ การคัดแยก (Sorting) การบดย่อยขยะมูลฝอยให้มีขนาดเล็ก (Shredding) ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการบำบัดขยะมูลฝอยขั้นต้นก่อนทำการฝังกลบ คือ สามารถลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน และกระตุ้นให้เกิดการทรุดตัวของขยะมูลฝอยได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณของขยะลดลงอย่างรวดเร็ว รวมทั้งช่วยลดระยะเวลาที่จะเกิดการปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย

(2) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่ (Sanitary landfill operation) การดำเนินงานฝังกลบขยะชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาลมีอยู่ 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

(2.1) การฝังกลบแบบพื้นที่ (Area method) เหมาะสมกับบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศไม่เหมาะที่จะขุดเป็นร่องเพื่อกำจัดขยะมูลฝอย โดยการดำเนินงานจะเป็นการเทขยะมูลฝอยและเกลี่ยเป็นแถวยาว กว้างประมาณ 3-7 เมตรไปบนพื้นที่เป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาประมาณ 0.40-0.75 เมตร แล้วอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นถัดไปแล้วอัดทับกันไปเรื่อยๆจนได้ความหนาประมาณ 2-3 เมตร การดำเนินงานบดอัดขยะมูลฝอยจะต้องกะประมาณให้ครบวันพอดิ จากนั้นกลบดินบนชั้นขยะมูลฝอยหนาประมาณ 0.15-0.30 เมตร ทุกครั้งก่อนเลิกงานประจำวัน

(2.2) การฝังกลบแบบร่อง (Trench method) วิธีนี้เหมาะสมกับสถานที่ฝังกลบที่มีดินที่มีลักษณะใช้เป็นดินกลบได้ และชั้นดินมีความหนาพอสมควร โดยเริ่มจากการใช้รถขุดพื้นดินเป็นร่องยาวประมาณ 30-100 เมตร กว้าง 5-8 เมตร ลึก 2 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างของร่องเป็นเขื่อนดินขยะมูลฝอยจะถูกเทไปในร่องโดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ หนาประมาณ 0.45-0.60 เมตร แล้วอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้ก่อนที่จะเทขยะมูลฝอยชั้นต่อไปลงไปแล้วบดอัดใหม่เป็นชั้นทับกันไปเรื่อยๆจนได้ความสูงของชั้นขยะมูลฝอยตามต้องการโดยการกำหนดความยาวของร่องที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในแต่ละวันควรจะสามารถฝังกลบได้ตามความสูงที่กำหนดพอดิ ทั้งนี้จะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะให้รถขยะมาถ่ายขยะมูลฝอยลงได้พร้อมกันด้วย เพื่อป้องกันการสูญเปล่าในการรอคิวของรถขนขยะมูลฝอย

(2.3) การฝังกลบแบบบ่อหรือพื้นที่ลาดเอียง (Ramp method) วิธีการฝังกลบแบบนี้เหมาะสำหรับสถานที่ฝังกลบที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ลาดเอียงหรือเป็นหลุมบ่อขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากการขุด เช่น หุบเขา ห้วย บ่อดิน บ่อเหมือง เป็นต้น เทคนิคในการทิ้งและบดอัดขยะมูลฝอยในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศของสถานที่นั้นๆ รวมทั้งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินกลบ สภาพชั้นดิน แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณนั้น และสภาพถนนทางเข้า-ออก หากสถานที่ฝังกลบมีพื้นที่ของบ่อหรือห้วยที่ใช้เป็นพื้นที่ฝังกลบมีสภาพค่อนข้างราบ การฝังกลบในขั้นแรกอาจใช้วิธีแบบร่อง เมื่อฝังกลบในขั้นแรกเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มฝังกลบในชั้นถัดไป ในการฝังกลบขยะด้วยวิธีนี้ ควรให้ความสูงของชั้นฝังกลบชั้นสุดท้ายอยู่เหนือระดับพื้นดินในบริเวณข้างเคียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อมีการทรุดตัวของขยะมูลฝอยในบริเวณฝังกลบก็จะทำให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับพื้นดินบริเวณข้างเคียง

(3) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Landfill gas collection system)

(3.1) รูปแบบของระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย แบ่งได้ 3 ประเภทดังนี้

- ระบบรวบรวมท่อแบบแนวตั้ง (Vertical extraction well) โดยการฝังท่อในแนวตั้งเพื่อให้ก๊าซไหลเข้าท่อโดยที่ปลายด้านล่างของบ่อจะจมด้วยกรวด ท่อที่ใช้จะเป็นแท่ง PVC หรือ HDPE

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

- ระบบรวบรวมก๊าซแบบผสมผสาน (Hybrid collection system) ระบบนี้ประกอบด้วยระบบที่รวบรวมก๊าซในแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งจะรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(3.2) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ในการควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยที่ระบายออกสู่บรรยากาศ แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

(3.2.1) Passive system เป็นระบบควบคุมก๊าซชีวภาพที่ง่ายที่สุด มักจะใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะขนาดเล็กหรือใช้กับสถานที่ฝังกลบมูลฝอยที่ปิดการใช้งานแล้ว (Close landfill site) หรือใช้เครื่องมือในการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในพื้นที่ฝังกลบขนาดใหญ่เพื่อให้ก๊าซชีวภาพสามารถระบายออกสู่บรรยากาศได้ดีที่สุด ในสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดเล็กหรือสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยที่ปิดการใช้งานชั่วคราว บางแห่ง ก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้บางครั้งถูกระบายออกสู่บรรยากาศโดยตรงโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อนอย่างไรก็ตามควรพิจารณาการติดตั้งระบบเผาทิ้ง (Flaring) หรือการนำก๊าซไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เพื่อควบคุมการระบายก๊าซมีเทนและปัญหาเรื่องกลิ่นจากสถานที่ฝังกลบ

(3.2.2) Active System ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพแบบนี้มักประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมและนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ แทนการระบายทิ้ง

(3.2.3) ระบบควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย Physical barrier เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันก๊าซชีวภาพแพร่กระจายออกทางผิวหน้าของหลุมฝังกลบ โดยสถานที่ฝังกลบแห่งใหม่สามารถออกแบบรวมกับการใช้วัสดุปูพื้นหรือวัสดุธรรมชาติ ระบบรวบรวมและควบคุมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Physical barrier เป็นระบบที่ได้ถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลมากที่สุดเนื่องจากสามารถควบคุมการสูญเสียก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ ควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่นได้ และสามารถลดการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซจากพื้นผิวหลุมฝังกลบได้ โดยการปูพื้นด้วยวัสดุรองพื้น (Lining) ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนกับ Physical barrier ช่วยป้องกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบไหลออกไปนอกระบบผ่านผิวของหลุมฝังกลบได้ รวมทั้งสามารถรวบรวมก๊าซเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้

(4) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Gas utilization system)

การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นเริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่นิยมใช้ทั่วๆ ไป ได้แก่ กังหันก๊าซ (Gas turbine) ขนาดของเครื่องยนต์ที่ใช้งานมีตั้งแต่ 100 กิโลวัตต์ ขึ้นไปจนถึงหลายเมกะวัตต์การเลือกใช้เครื่องยนต์ในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายประการ อาทิ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ และคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ความพร้อมจ่ายของระบบผลิตไฟฟ้า ข้อกำหนดของเครื่องยนต์ในการบำบัดก๊าซเบื้องต้นความต้องการดูแลและรักษาระบบ ความคุ้นเคยของผู้ควบคุมระบบกับระบบที่เลือกใช้ ความยืดหยุ่นของระบบ ตลอดจนอายุการใช้งานและราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาระบบ

ทางเลือกในการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยมีอยู่ 3 แนวทาง คือการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียง (Local gas use) การผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity generation) และการส่งเข้าสู่ระบบท่อก๊าซ (Pipeline injection) ดังนี้

(4.1) Local gas use เป็นการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ใกล้เคียงกันกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยโดยมีรัศมีไม่เกิน 3 กิโลเมตรจากพื้นที่โครงการ เนื่องจากจะไม่มี ความคุ้มทุนในด้านของระบบส่งก๊าซ (Gas transmission system) จากสถานที่ฝังกลบไปยังจุดที่ต้องการใช้งาน ซึ่งส่วนใหญ่จะขนส่งด้วยระบบท่อโดย

ก๊าซที่ได้จากสถานที่ฝังกลบจะต้องผ่านการบำบัดก๊าซเพื่อกำจัดไอน้ำและฝุ่นละอองที่ปนอยู่ออกไปโดยใช้ระบบกรองและ/หรือระบบแยกน้ำ ก๊าซที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 35-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก๊าซนี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับทั้งหม้อไอน้ำ (Boiler) และเครื่องยนต์ (Engine) โดยทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบขนส่งด้วยท่อ รวมทั้งปัญหา-อุปสรรคในการก่อสร้างระบบด้วย

(4.2) การผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity generation) เป็นการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนโดยการนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้งานในโครงการเอง หรือส่งเข้าระบบสายส่งไฟฟ้า (Local electric power grid) โดยระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้งาน ได้แก่ (Internal combustion engine (IC Engine) และกังหันก๊าซ (Gas turbine) โดยกังหันก๊าซจึงเหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขนาดใหญ่ รวมทั้งการเดินกังหันก๊าซต้องเดินเครื่องด้วยอัตราคงที่ไม่สามารถเปิด-ปิดเครื่องตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันได้ นอกจากนี้กังหันก๊าซยังเป็นระบบที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งจ่ายให้กับระบบสายส่งอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ส่วนระบบ IC Engine นั้นเป็นระบบที่สามารถเปิด-ปิดเครื่องได้อย่างง่ายดาย จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้งานภายในพื้นที่มากกว่า

(4.3) Pipeline injection ในกรณีที่ไม่มีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในพื้นที่ใกล้เคียง โดยจะต้องผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซ และการอัดเพื่อเพิ่มความดันก่อนส่งผ่านไปยังท่อความดันต่อไป

(5) ระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม

ผลที่เกิดจากการย่อยสลายขยะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพแล้วยังเกิดน้ำชะขยะขึ้นอีกด้วย โดยน้ำชะขยะจะเกิดจาก 2 ส่วน คือ จากความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในองค์ประกอบของขยะมูลฝอย และเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงบริเวณหลุมฝังกลบและซึมผ่านชั้นดินกลบทับลงไปจนถึงชั้นขยะมูลฝอยซึ่งน้ำชะขยะนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับน้ำใต้ดินตามมาได้ ดังนั้นสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยจึงต้องมีการออกแบบระบบควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งได้แก่ ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะ และระบบติดตามตรวจสอบน้ำใต้ดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(5.1) ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำชะขยะในการจัดการระบบฝังกลบขยะมูลฝอยที่ดีจะต้องพิจารณาการควบคุมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นควบคู่ไปพร้อมกับการจัดการน้ำชะขยะด้วย โดยก๊าซควรจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ ในขณะที่น้ำชะขยะควรจะถูกเก็บกักไว้ในชั้นฝังกลบ หรือระบายออกทางด้านล่าง เพื่อนำไปบำบัดก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำต่อไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในพื้นที่ฝังกลบจะมีอยู่ 2 ทิศทาง คือการเคลื่อนที่ซึมลงสู่ด้านล่างในแนวตั้ง และไหลออกทางด้านข้างของหลุมฝังกลบวิธีการควบคุมน้ำชะขยะไม่ให้ไหลซึมออกนอกพื้นที่ฝังกลบ คือการใช้วัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ยากเป็นวัสดุรองพื้นโดยรอบบริเวณฝังกลบ เช่น ดินอัดดินเหนียวอัด สารเคมีอินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต ซิลิเกต หรือไฟโรฟอสเฟต เป็นต้น สารเคมีสังเคราะห์ ได้แก่ พอลิเมอร์ ยางลาเท็กซ์ เป็นต้น แผ่นรองพื้นทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ ยางบิวทิล โพลีเอทิลีน ไนลอน เป็นต้น และการใช้ยางมะตอยหรือแอสฟัลท์ เป็นวัสดุรองพื้น นอกจากนี้ยังต้องมีการควบคุมไม่ให้น้ำจากภายนอกไหลเข้าสู่ชั้นขยะมูลฝอยได้ง่าย โดยใช้ดินกลบที่มีคุณสมบัติน้ำซึมผ่านได้ยากกลบชั้นขยะมูลฝอย โดยให้ความลาดเอียงประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และจัดให้มีการระบายน้ำโดยรอบบริเวณฝังกลบอย่างเพียงพอ

(5.2) ระบบติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำใต้ดินที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย โดยต้องติดตั้งบ่อตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน

ดินทั้งจุดเหนือ และทำน้ำตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อติดตามตรวจสอบสารปนเปื้อนอาจเกิดจากการรั่วซึมของน้ำชะขยะ

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

(6.1) การปิดชั้นฝังกลบรายวัน (Daily cover) เป็นการปิดทับขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบในแต่ละวัน เพื่อป้องกันปัญหาเหตุเดือดร้อนรำคาญเนื่องจากกลิ่น การคืบเซี่ยขยะ แผลง ไฟไหม้ หรือการไหลซึมของน้ำสู่ชั้นฝังกลบขยะ โดยวัสดุที่ใช้ในการปิดทับชั้นฝังกลบขยะรายวันนั้นอาจเป็นดินที่ได้จากการขุดในพื้นที่ หรือนำมาจากที่อื่นก็ได้ ความหนาของชั้นดินปิดทับรายวันประมาณ 0.15-0.30 เมตร

(6.2) การปิดชั้นฝังกลบขยะบริเวณด้านบนและด้านข้างของชั้นฝังกลบ เพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากการขนส่งโดยรถเก็บขนขยะและสภาพภูมิอากาศ รวมถึงป้องกันการระบายก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบด้วย เรียกว่า Intermediate cover

(6.3) การปิดชั้นฝังกลบชั้นสุดท้าย (Final cover) เป็นการปิดชั้นฝังกลบเมื่อทำการฝังกลบขยะมูลฝอยจนได้ระดับที่ออกแบบไว้แล้ว เพื่อป้องกันการซึมของน้ำฝนเข้าสู่ชั้นฝังกลบและการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ เมื่อทำการปิดชั้นฝังกลบชั้นสุดท้ายเสร็จสิ้นแล้วต้องมีการปลูกพืชคลุมทับอีกครั้งตามเกณฑ์มาตรฐาน

2) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากการฝังกลบขยะชุมชนแบบ Bioreactor landfill

เนื่องจากระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบใช้ระยะเวลายาวนาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบของการฝังกลบขึ้นในช่วงต้นๆ ของศตวรรษที่ 21 เรียกว่า Bioreactor landfill ซึ่งมีลักษณะการก่อสร้างเหมือนกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) คือ ต้องมีการปูวัสดุรองพื้น (Lining system) และระบบรวบรวมน้ำชะขยะ (Leachate collection system) แต่มีหลักการในการออกแบบระบบที่แตกต่างไปจากการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือ Conventional landfill เพื่อย่นระยะเวลาของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนให้มีสถานะเสถียรและคงที่ภายในเวลา 5-10 ปี การเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงกว่าระบบ Conventional landfill โดยการเสถียรและคงที่ของสถานที่ฝังกลบนั้น หมายถึง สภาพแวดล้อมต่างๆ ของระบบคงที่ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (Landfill gas composition) อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (Gas generation rate) ความเข้มข้นและลักษณะสมบัติของน้ำชะขยะ (Leachate constituent and concentration) ซึ่งไม่ควรจะมีความแปรปรวนมากนักในช่วง 5-10 ปีของการดำเนินงานหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor landfill

หลักการในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลนั้นเป็นการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยแบบแห้ง (Dry landfill) โดยมีค่าความชื้นของชั้นขยะมูลฝอยประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบจะถูกนำมาเกลี่ยให้มีความหนาเท่าๆ กัน ก่อนบดอัดให้แน่นจนได้ความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ จากนั้นกลบทับด้วยดินซึ่งเป็นการปิดทับชั้นฝังกลบรายวันจนกระทั่งได้ความสูงของชั้นขยะตามที่ออกแบบไว้ ปิดทับด้วยดินเป็นการปิดทับชั้นสุดท้าย (Final cover) ซึ่งการฝังกลบแบบนี้จะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานหลายสิบปี (30-200 ปี) จึงเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำใต้ดินปนเปื้อนจากน้ำชะขยะได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ปูรองพื้นมีการชำรุดเสียหายตามอายุของการใช้งานส่วนหลักการพื้นฐานในการออกแบบ/ดำเนินงานสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor

Landfill คือ การออกแบบและการดำเนินงานระบบแบบเฉพาะเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร ผัก-ผลไม้ กระดาษ และอื่นๆ โดยควบคุม

ความชื้นที่เหมาะสมและเติมสารอาหารที่จำเป็น (Nutrients) ให้แก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย สำหรับข้อดีนั้นนอกจากจะช่วยในการย่นระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนแล้ว ยังช่วยทำให้เกิดความเสถียรภาพของระบบได้เร็วขึ้นอีกด้วย ในการควบคุมความชื้นของระบบ Bioreactor landfill นั้นทำได้โดยการเติมน้ำหรือหมุนเวียนน้ำชะขยะเข้าไปในระบบ เพื่อให้ชั้นขยะมูลฝอยมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

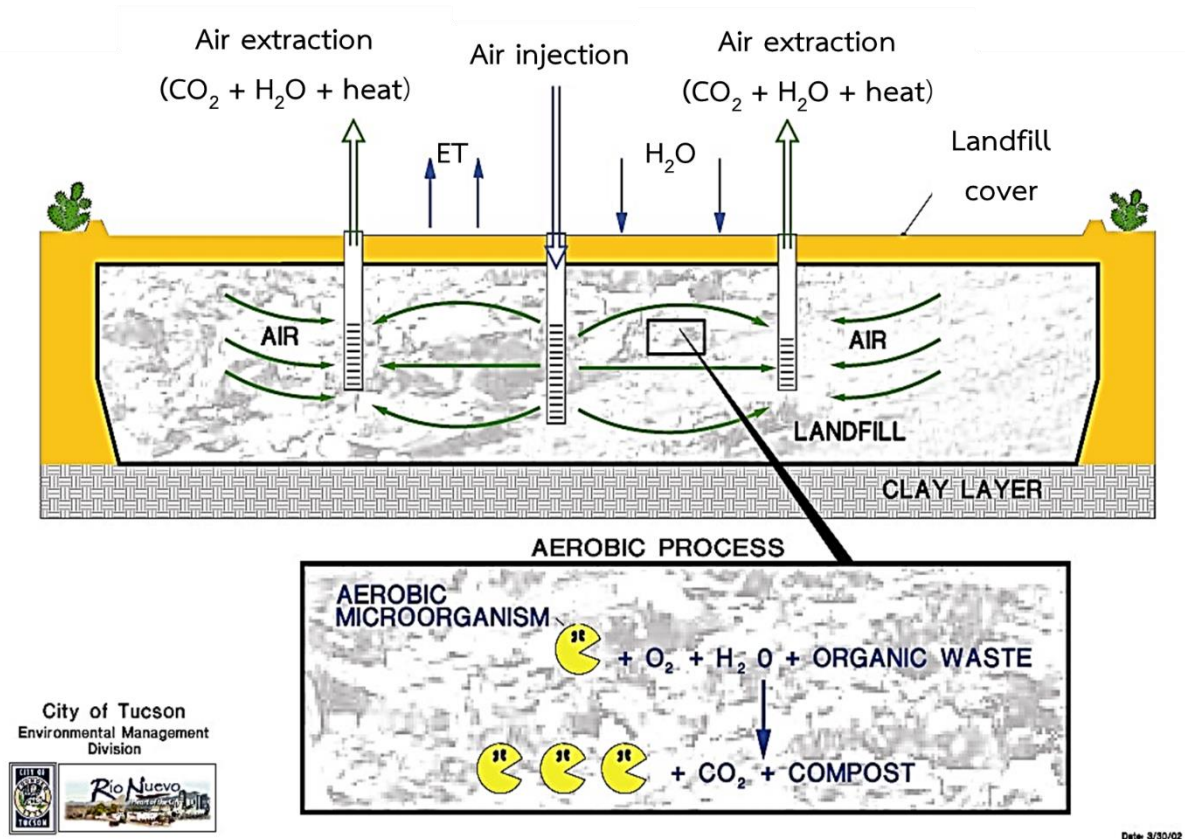
องค์ประกอบหลักในการดำเนินงานผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบ Bioreactor landfill ประกอบด้วย ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) การดำเนินงานฝังกลบในพื้นที่ระบบรวบรวมและควบคุมน้ำชะขยะ (Collection and control of leachate) ระบบการรวบรวมก๊าซชีวภาพ และระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment)

ระบบบำบัดขั้นต้นมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะชุมชนได้ดีขึ้น ช่วยลดโอกาสในการเกิดมลพิษ และช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายในพื้นที่ฝังกลบ โดยจะทำการคัดแยก (Sorting) การบด-ตัดขยะมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลง (Shredding) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้น วิธีการนี้จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำชะขยะ เพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนในการดำเนินงานฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบ Bioreactor landfill นั้น ต้องการความหนาแน่นที่ไม่สูงมากนัก เพื่อให้การหมุนเวียนน้ำชะขยะผ่านชั้นขยะมูลฝอยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่กระบวนการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor Landfill ควรเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ ประกอบด้วย กระดาษ ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า เศษอาหาร โดยสารอินทรีย์ควรมีสัดส่วนของของแข็งระเหย (Volatile Solid) อย่างน้อย 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

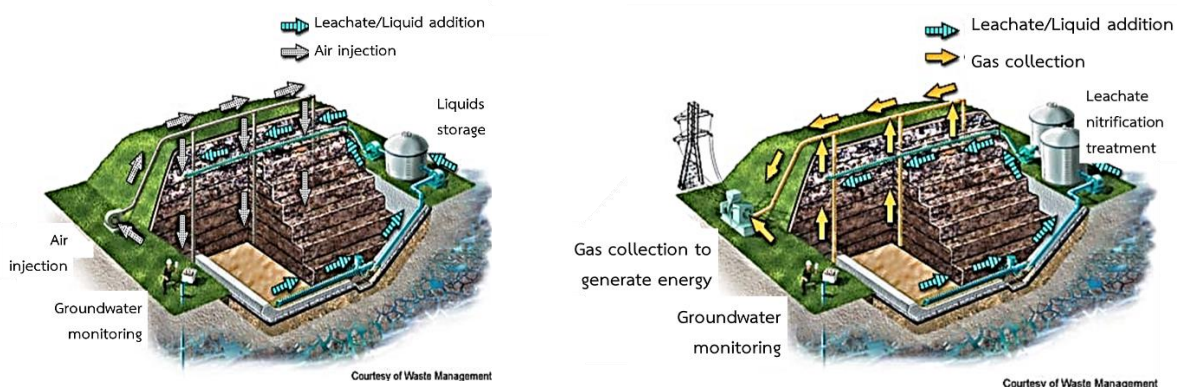
(2) การดำเนินการฝังกลบในพื้นที่แบบ Bioreactor landfill แบ่งออกเป็น 4 แบบหลัก คือ

(2.1) Aerobic bioreactor landfill เป็นการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนที่มีการเร่งกระบวนการย่อยสลายโดยการปรับสภาพให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจและการสร้างเซลล์จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยเปลี่ยนไปให้เป็นพลังงานและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในระบบฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Aerobic bioreactor landfill นี้ จะมีการเติมอากาศเข้าไปในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ผลที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิตแทนมีเทน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จนเข้าสู่ภาวะเสถียรจะใช้เวลาน้อยกว่า 2 ปี



ภาพที่ 22 การฝังกลบแบบ Aerobic Bioreactor Landfill [12]

(2.2) Anaerobic bioreactor landfill เป็นการสร้างสถานะให้หลุมฝังกลบมีสภาพเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ซึ่งจุลินทรีย์ประเภทนี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ก่อนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความชื้นของชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยที่เหมาะสมควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 35-40 เปอร์เซ็นต์ วิธีการที่ใช้ในการเพิ่มความชื้นในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมของเหลวหรือน้ำชะขยะเข้าไปชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยโดยผ่านระบบหมุนเวียนน้ำชะขยะ หรืออาจใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียในการช่วยเพิ่มความชื้นได้เช่นเดียวกัน ซึ่งทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 23 การฝังกลบแบบ Aerobic bioreactor landfill และ Anaerobic bioreactor landfill [13]

(2.3) Facultative bioreactor landfill เป็นระบบผสมผสานระหว่างระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนกับกลไกการควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำชะขยะหมุนเวียน โดยน้ำชะขยะที่เกิดจากชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงจะถูกบำบัดด้วย ในระบบฝังกลบขยะแบบ Facultative bioreactor นี้ ต้องมีปริมาณความชื้นอย่างเพียงพอที่จะทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำชะขยะหมุนเวียนหรือในรูปของของเหลวอื่นๆ เช่น ตะกอนของจุลินทรีย์ (Sewage sludge) หรือน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินเป็นต้น เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับระบบเช่นเดียวกับ Anaerobic bioreactor landfill

(2.4) Aerobic-anaerobic bioreactor landfill หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Hybrid bioreactor landfill เป็นระบบที่ถูกออกแบบเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น โดยใช้ระบบผสมผสานระหว่าง Aerobic และ Anaerobic bioreactor วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบนี้ก็เพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนอย่างรวดเร็วในขั้นตอนย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ในขณะที่เดียวกันจะลดการเกิดกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เข้าสู่ขั้นตอนการผลิตมีเทนเร็วขึ้น ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยประเภทนี้จะประกอบด้วย ก๊าซแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ

(3) ระบบรวบรวมและควบคุมน้ำชะขยะ (Leachate collection and controls)

น้ำชะขยะที่เกิดขึ้นจะไหลซึมผ่านขยะมูลฝอยและชะละลายสารต่างๆ ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยปนออกมา กับน้ำชะขยะ ซึ่งรวมถึงสารที่มีโอกาสเป็นสารอันตรายได้ ลักษณะคุณสมบัติของน้ำชะขยะนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของขยะมูลฝอยที่นำมาฝังกลบและปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยปริมาณน้ำชะขยะที่ไหลออกจากหลุมฝังกลบขยะนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินจากน้ำชะขยะ จึงต้องอาศัยเทคนิคต่างๆ ในการจัดการน้ำชะขยะ ได้แก่ การรวบรวมและการบำบัดน้ำชะขยะ (Leachate collection and treatment) การหมุนเวียนน้ำชะขยะ (Leachate recirculation) และการระเหยน้ำชะขยะ (Leachate evaporation)

(3.1) การรวบรวมและการบำบัดน้ำชะขยะ (Leachate collection and treatment)

ระบบรวบรวมน้ำชะขยะที่ใช้ร่วมกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor landfill นั้น มีลักษณะคล้ายกับระบบรวบรวมที่ใช้ร่วมกับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล โดยน้ำชะขยะที่ไหลซึมผ่านชั้นวัสดุรองพื้นไปยังระบบท่อรวบรวมน้ำชะขยะที่มีการออกแบบควบคุมระดับความสูงของน้ำชะขยะเหนือวัสดุรองพื้นที่ค่าต่ำสุดไม่เกิน 30 เซนติเมตร โดยท่อรวบรวมน้ำชะขยะจากแต่ละส่วนย่อยจะเชื่อมต่อกับท่อรวบรวมขนาดใหญ่ขึ้น และจะส่งต่อไปยังบ่อบำบัด และสุดท้ายไปยังระบบบำบัดน้ำชะต่อไป โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาอยู่ 4 ปัจจัย คือ อัตราการไหลของน้ำชะขยะเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำชะขยะ ค่าความซึมผ่านได้ (Permeability) ของวัสดุที่ใช้ในการรวบรวมน้ำชะขยะ (Drainage layer) ระยะทางจากจุดใกล้สุดของน้ำชะขยะมาถึงท่อรวบรวมน้ำชะขยะ (Length of drainage path) และความลาดชันของวัสดุที่ใช้ปูรองพื้น (Slope of liner) วัสดุที่ใช้ในการรวบรวมน้ำชะขยะ โดยทั่วไปจะใช้วัสดุที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย เช่น ทราย กรวด หรือวัสดุสังเคราะห์ประเภท Geonet ในการออกแบบระบบเก็บกักน้ำชะขยะที่ดีต้องไม่เกิดการขังอยู่ในพื้นที่ฝังกลบหรือเกิดการล้นออกจากพื้นที่ฝังกลบ หรือเกิดการปนเปื้อนกับน้ำฝน ซึ่งต้องพิจารณาถึงสมดุลมวลน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ฝังกลบทั้งหมด ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่ฝังกลบทั้งที่เป็นน้ำไหลซึม

น้ำไหลนอง (Runoff water) น้ำที่ระเหย (Evaporated water) ความชื้นในขยะมูลฝอย และความชื้นที่เกิดจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะเข้าสู่ชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย หรือน้ำชะขยะที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย โดยทั่วไปปริมาตรของระบบกักเก็บน้ำชะขยะสำหรับหมุนเวียนควรอยู่ในช่วง 1,500-2,000 ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์

(3.2) ระบบการหมุนเวียนน้ำชะขยะ (Leachate recirculation) เป็นการรวบรวมและหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับสู่หลุมฝังกลบขยะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอย เนื่องจากในระยะแรกของการฝังกลบขยะมูลฝอยนั้น น้ำชะขยะจะมีค่าความเข้มข้นของสารต่างๆ สูง เช่น ค่าของแข็งละลาย (TDS) ปีไอดี ซีไอดี และปริมาณโลหะหนัก การหมุนเวียนน้ำชะขยะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี ที่ทำให้มีการบำบัดบีโอดีที่ดีขึ้น และยังเป็น การเพิ่มสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วย นอกจากประโยชน์ในข้างต้นแล้ว น้ำชะขยะที่หมุนเวียนกลับมาใส่ในชั้นฝังกลบนี้ยังช่วยเพิ่มค่าความชื้น ซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสารอาหารและจุลินทรีย์ในระบบให้มีความสม่ำเสมอทั้งชั้นฝังกลบอีกด้วย น้ำชะขยะที่รวบรวมได้จากหลุมฝังกลบขยะจะถูกนำไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนหมุนเวียนเข้าสู่หลุมฝังกลบขยะโดยผ่านระบบท่อหมุนเวียน

(4) ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ

ระบบรวบรวมก๊าซที่ใช้โดยทั่วไปประกอบด้วย ท่อรวบรวมก๊าซในแนวตั้ง (Vertical wells) ซึ่งจะก่อสร้างเมื่อปิดการใช้งานหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ท่อรวบรวมก๊าซในแนวตั้งนี้จะมีลักษณะคล้ายกับท่อที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน มีลักษณะที่เป็นท่อรูพรุน (Perforated pipe) โดยจะล้อมรอบท่อด้วยวัสดุที่มีความพรุน (Permeable media) เช่น กรวด

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยจะไหลผ่านเข้าสู่ท่อรวบรวมก๊าซ โดยอาศัยความแตกต่างของความดันระหว่างความดันภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยกับความดันบรรยากาศ (Passive venting) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรวบรวมก๊าซที่ไม่สูงนัก ดังนั้นเทคนิคการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะโดยใช้ระบบสุญญากาศจึงถูกนำมาใช้ทดแทน โดยระบบนี้จะวางท่อรวบรวมก๊าซมีลักษณะเป็นโครงข่าย (Pipe network) ซึ่งจะต่อเข้ากับพัดลมดูดอากาศ (Blower) โดยพัดลมดูดอากาศจะทำให้เกิดสภาพสุญญากาศในระบบท่อรวบรวมก๊าซและภายในบ่อ และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของก๊าซจากชั้นฝังกลบขยะเข้าสู่ระบบท่อรวบรวมก๊าซ เรียกกระบวนนี้ว่าเป็นระบบรวบรวมก๊าซแบบ Active collection system ข้อดีของระบบนี้ คือ สามารถดึงก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงทำให้มีก๊าซที่ระเหยออกจากหลุมฝังกลบไปในบรรยากาศในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามระบบรวบรวมก๊าซโดยวิธี Active collection system นี้อาจทำให้อากาศไหลเข้าภายในชั้นฝังกลบขยะมูลฝอยได้ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนหยุดชะงักลง รวมทั้งอาจทำให้เกิดปัญหาไฟไหม้สถานที่ฝังกลบขยะ

(5) ระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

การผลิตพลังงานจากระบบกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบ Bioreactor landfill ซึ่งก๊าซส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill gas, LFG) ถือเป็นก๊าซที่มีค่าความร้อนปานกลางอยู่ระหว่าง 14,900-20,500 kJ/m³ ขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ของมีเทน การใช้ประโยชน์จากก๊าซจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือแบบ Bioreactor landfill จะมีหลักการและระบบที่เหมือนกัน คือ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct use) การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ เป็นต้น

2.3 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ

2.3.1 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse derived fuel : RDF)

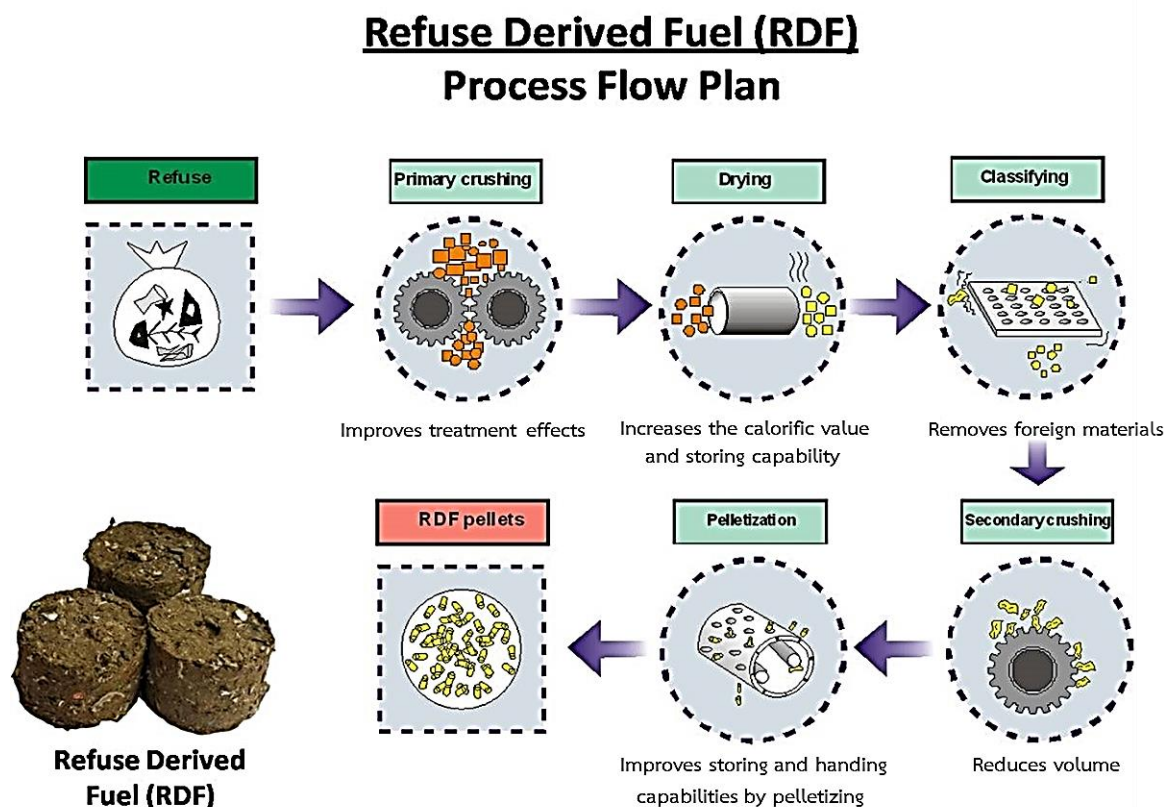
การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน เนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะมูลฝอย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชน และตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบโรงเผาและผู้ปฏิบัติและควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ยาก การแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอยเพื่อให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse derived fuel : RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้ ซึ่งเชื้อเพลิงขยะที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้

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

2.3.2 การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ

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

ขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับว่ามีการจัดการขยะอย่างไร ตัวอย่างเช่น ถ้าขยะได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จากแหล่งกำเนิดก่อนอยู่แล้ว ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงก็อาจจะไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการคัดแยกโลหะหรือแก้วก็ได้ โดยทั่วไปขยะจะถูกนำมาคัดแยกส่วนที่นำไปกลับใช้ซ้ำได้ (เช่น โลหะ และแก้ว) และอินทรีย์สาร (เช่น เศษอาหาร) ที่ซึ่งมีความชื้นสูงส่วนประกอบนี้สามารถนำไปใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil conditioner) ส่วนประกอบที่เหลือจะถูกนำไปลดขนาด ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กระดาษ เศษไม้ พลาสติก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรงในรูปของ Coarse RDF หรือนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการอัดแท่งเพื่อผลิตเป็น Densified RDF การเลือกพิจารณาว่าจะใช้เชื้อเพลิงขยะในแบบชนิดไหนขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของระบบการเผาไหม้ สถานที่ที่ตั้งระหว่างที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะและสถานที่ใช้งาน



ภาพที่ 24 ขั้นตอนในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ ^[14]

3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิตพลังงานจาก Waste

3.1.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายชื่อบริษัทผู้ผลิตพลังงานจาก Waste ในประเทศ ^[15]

บริษัทผู้ผลิตพลังงาน	ที่อยู่	เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงาน
โรงไฟฟ้าจากเตาเผาขยะ บริษัท พีเจที เทคโนโลยี จำกัด	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครภูเก็ต 115/23-24 ม.1 ถ. รัตนโกสินทร์ 200 ปี ต.วิชิต อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000	เทคโนโลยีการเผาไหม้/เตาเผาขยะ
บริษัท จีเดค จำกัด	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครหาดใหญ่ 2044/88 ถ. สนามบิน-ลพบุรี ราเมศวร์ หมู่ 3 ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110	เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน
โรงไฟฟ้าจากเตาเผาขยะ บริษัท พีเจที เทคโนโลยี จำกัด	นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ที่ดิน G836 ต.บ้านเก่า อ.เมือง จ. ชลบุรี 20000	เทคโนโลยีการเผาไหม้/เตาเผาขยะ

บริษัทผู้ผลิตพลังงาน	ที่อยู่	เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงาน
โรงไฟฟ้าจากเตาเผาขยะ เทศบาลนครภูเก็ต	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครภูเก็ต ม.1 ถ.รัตนโกสินทร์ 200 ปี ต.วิชิต อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000	เทคโนโลยีการเผาไหม้/เตาเผาขยะ
โรงไฟฟ้าขยะ บริษัท ทีพีโอ โพลีน เพาเวอร์จำกัด	299 ม.5 ถ.มิตรภาพ ต.ทับทิม อ.แก่งคอย จ.สระบุรี 18260	เทคโนโลยีการเผาไหม้/เตาเผาขยะ
โรงไฟฟ้าขยะ บจก. บางปูเอนไวรอนเมนทอล คอมเพล็กซ์	นิคมอุตสาหกรรมบางปู 965 ม.2 ซ.3B ต.บางปูใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280	เทคโนโลยีการเผาไหม้/เตาเผาขยะ
บริษัท เกาะแก้ว กรีน เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเม้นท์ จำกัด	103 ม.2 ต.สากเหล็ก อ.สากเหล็ก จ.พิจิตร 66160	เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน
บริษัท อินทจันทร์คลีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	77 หมู่ 12 ต.ท่าขุนราม อ.เมือง กำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร 62000	เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน
บริษัท พลังงานพอเพียง จำกัด	6 หมู่ 5 ถ.เศรษฐกิจ 1 อ.นาดี จ.สมุทรสาคร 74000	เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน
เทศบาลนครนครราชสีมา	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ทน. นครราชสีมา 425 ถ.โพธิ์กลาง ต.ใน เมือง อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000	เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
เทศบาลนครระยอง	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ทน.ระยอง 22/13 ถ.สมุทรเจดีย์ ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.ระยอง 21000	เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
บริษัท โรงไฟฟ้าพลังงาน ทดแทนทุ่งสง จำกัด	58/2 ม.7 ก่อไฟ ถ.ทุ่งสง-ตรัง ต.ที่วัง อ.ทุ่งสง จ. นครศรีธรรมราช 80110	เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
บริษัท รักษ์บ้านเรา จำกัด	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบบูรณาการ เทศบาลเมืองท่าโขลง ถ. นวนคร 16 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ต.ท่าโขลง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120	เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
บริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด	150/28 ม. 3 ต.ท่าถ่าน ถ.304 ต.ท่าถ่าน อ.พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา 24120	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ
บริษัท ชินิท กรีน เอ็นเนอีย จำกัด	39 หมู่ 8 ต.ทุ่งบัว อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73180	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ

บริษัทผู้ผลิตพลังงาน	ที่อยู่	เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงาน
บริษัท บางกอก กรีนเพาเวอร์ จำกัด	49 หมู่ 8 ต.ทุ่งบัว อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ
บริษัท เจริญสมพงษ์ จำกัด	142/4 ม.14 ซ.กิ่งแก้ว 37 ถ.กิ่งแก้ว ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ. สมุทรปราการ 10540	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ
บริษัท โรงไฟฟ้าบ้านตาล จำกัด	337 ม.7 ต.บ้านตาล อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ 50240	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ
บริษัท ท่าเชียงทอง จำกัด	209 ม.7 ต.บ้านตาล อ.ฮอด จ.เชียงใหม่	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ
บริษัท แอคทีฟซินเนอร์ยี จำกัด	7 ม.10 อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73180	เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะ
โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซขยะตามแนวพระราชดำริ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	60 ม.21 ต.สระสั้ม อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140	เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าจากก๊าซหลุมฝังกลบขยะและเครื่องยนต์ก๊าซ

3.1.2 รายชื่อบริษัทผู้ผลิตพลังงานจาก Waste ในต่างประเทศ

ตารางที่ 2 รายชื่อบริษัทผู้ผลิตพลังงานจาก Waste ในต่างประเทศ ^[16]

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Covanta	Covanta Holding Corporation 445 South Street Morristown, NJ 07960	(862) 345-5000	United States	https://www.covanta.com/
Wheelabrator Technologies	100 Arboretum Drive, Suite 310 Portsmouth, NH 03801	+1 603.929.3000	United Kingdom	http://www.wtienergy.com/
GGI™ Energy, Inc.	5600 Tennyson Parkway Suite # 380 Plano, Texas USA 75024	+1 (972) 403 7880	United States	http://www.ggienergyinc.com/
Sierra Energy	1222 Research Park Dr. Davis, CA 95618	(530) 759-9827	United States	http://www.sierraenergy.com/
Enertech	2223 Southwest Blvd Wichita, Kansas 67213	316-847-2924	United States	http://enertech.com/

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
ADVANCED PLASMA POWER LTD	South Marston Business Park Stirling Road, Swindon SN3 4DE	+44 (0)1793 238550	United Kingdom	http://advancedplasma-power.com/
eFACTOR3. LLC	601 Eagleton Downs Dr.Suite D Pineville, NC 28134	-	United States	http://efactor3.com/

4. การประยุกต์ใช้ Waste ในอุตสาหกรรม

4.1 ประโยชน์หลักที่ได้รับจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยในเตาเผา

คือ การนำเอาพลังงานที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล รูปแบบการนำพลังงานขั้นสุดท้ายไปใช้งานก็ขึ้นอยู่กับผู้ต้องการใช้พลังงาน ณ โรงเผาขยะด้วยว่าเป็นอย่างไร อาจขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. โครงข่ายระบบพลังงาน เช่น มีโครงข่ายสายไฟฟ้า หรือมีโครงข่ายระบบน้ำร้อนหรือน้ำ
2. รูปแบบการใช้พลังงานตลอดทั้งปี ต้องระลึกว่าโรงงานเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนมักมีการการผลิตพลังงานที่ค่อนข้างจะไม่คงที่
3. ราคาของแหล่งพลังงานอื่นๆ และข้อตกลงการซื้อพลังงานกับผู้ใช้งาน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนซึ่งรวมถึงระบบการผลิตพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานรูปสุดท้ายที่ต้องการใช้งาน การผลิตกระแสไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำและจะให้ราคาขายพลังงานที่สูง ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการหมักน้ำร้อน จะได้พลังงานที่มีราคาขายพลังงานที่ไม่แพง แต่จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าและความยุ่งยาก รวมทั้งต้นทุนและความต้องการการติดตั้งด้านเทคนิคค่อนข้างต่ำกว่า โดยในตารางข้อมูลสรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่สำหรับการใช้พลังงานแต่ละประเภทเทียบกับความร้อนที่ใส่เข้าไป หากสมมติว่าทราบค่าความร้อนของขยะที่เข้าเผาจะทำให้สามารถประมาณประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพื่อนำมาประมาณปริมาณพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ รูปแบบของการนำไอน้ำที่ผลิตจากขยะแสดงดังตารางที่ 3 ได้แก่

ตารางที่ 3 ตารางสรุปประสิทธิภาพที่ได้จากการผลิตพลังงานในรูปแบบต่างๆ

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

1) **ผลิตกระแสไฟฟ้าเท่านั้น** เป็นไปได้ที่จะสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ได้ถึงร้อยละ 35 ของพลังงานที่สามารถมีให้ได้ทั้งหมดในขณะมูลฝอย ความร้อนส่วนที่เกิน (Surplus heat) จะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์ หรือในหอคอยเย็น (Cooling tower) ทางเลือกนี้ เหมาะสมอย่างยิ่งเมื่อบริเวณสถานที่ตั้งโรงเผาขยะไม่มีผู้ใช้น้ำอยู่ใกล้ และเมื่อพลังงานถูกใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจึงใช้เทอร์โบแบบ Fully condensing turbine ความร้อนที่ขับออกไปทางคอนเดนเซอร์ไม่คุ้มค่าที่จะเก็บกลับมาใช้ใหม่ และการหล่อเย็นอาจใช้น้ำทะเลหรืออากาศ

2) **ผลิตความร้อนและกำลังร่วม** เมื่อมีการผลิตความร้อนและกำลังร่วมกันจะทำให้สามารถใช้พลังงานที่มีอยู่ในขณะมูลฝอยได้ถึงร้อยละ 85 และเมื่อหม้อไอน้ำถูกออกแบบมาให้ใช้กับเตาเผาขยะมูลฝอยโดยเฉพาะจะทำให้ได้พลังงานความร้อนถึงร้อยละ 20 ถึง 25 และกำลังความร้อนร้อยละ 60 ถึง 65 ในกรณีนี้เมื่อมีการผลิตความร้อนและกำลังทำให้ต้องใช้ Back pressure turbine

3) **ผลิตไอน้ำและกำลังร่วม** เมื่อมีการผลิตทั้งไอน้ำและเพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมและกำลังร่วม กำลังไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับไอน้ำที่ถูกดึงไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึง 35 และเมื่อผลิตทั้งไอน้ำและกำลังจึงทำให้ต้องมีไอน้ำที่ไหลผ่านเทอร์โบอย่างน้อยประมาณร้อยละ 10 และเทอร์โบที่ใช้จะเป็นแบบ Extraction Turbine

การใช้พลังงานจากขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะขึ้นกับองค์ประกอบและคุณภาพของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะขึ้นกับปริมาตรของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic loading) โดยทั่วไประบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 50-200 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ (น.น. เปียก) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือประมาณ 200-600 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของของแข็งระเหย (น.น. แห้ง) ของก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) ซึ่งได้มาจากการขุดเจาะ อย่างไรก็ตามก๊าซธรรมชาติมีองค์ประกอบอื่นที่นอกเหนือจากมีเทน ซึ่งได้แก่ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น บิวเทน (Butane) อีเทน (Ethane) และโพรเพน (Propane) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติมีค่าความร้อนสูงกว่าก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตามมีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน ที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยที่สุดและมีสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกรูปแบบที่ก๊าซธรรมชาติสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซชีวภาพ
Lower Calorific Value	MJ/m ³	36.14	21.48
Density	Kg/ m ³	0.82	1.21
Maximum Velocity	m/s	0.39	0.25
Theory Air Requirement	m ³ air/m ³ gas	9.53	5.71
Max. CO ₂ -conc. In Stack Gas	%Vol	11.9	17.8
Dew point	°C	59	60-160

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ กรณีทั้งในรูปแบบทั้งในรูปแบบของไฟฟ้าและความร้อน อย่างไรก็ตามจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนนำไปใช้ โดยองค์ประกอบสำคัญที่อาจจะต้องกำจัดก่อน ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบฮาโลเจน (Halogenated compound) ดังนี้

- **การใช้ CHP-Engine** สำหรับการเปลี่ยนพลังงานของก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อถือได้และเป็นที่ยอมรับแพร่หลายมาเป็นเวลานาน โดยก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปเผาใน Internal combustion engine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าของ Internal combustion engine ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 200 กิโลวัตต์) จะมีประสิทธิภาพประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Internal combustion engine ขนาดใหญ่อาจมีประสิทธิภาพสูงถึง 42 เปอร์เซ็นต์

เมื่อก๊าซชีวภาพถูกนำมาผลิตไฟฟ้าใน Internal combustion engine ก็สามารถผลิตพลังงานความร้อนจากน้ำหล่อเย็น (Cooling water) และไอเสียเครื่องยนต์ (Exhaust gas) ซึ่งการนำความร้อนนี้มาใช้ประโยชน์ จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมในการเปลี่ยนพลังงานก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนของ Internal combustion engine สูงจนเป็น 65-85 เปอร์เซ็นต์

- **การใช้ Gas turbine** ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยระบบที่มีขนาดใหญ่ รูปแบบการผลิตไฟฟ้าอาจเป็นแบบ Combined cycle ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของ Gas turbine, Steam turbine และ Waste heat recovery boiler ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของ Gas turbine สูงขึ้น โดย Gas turbine อาจมีขนาดตั้งแต่ 200 kWel (Micro turbine) ขึ้นไป แต่ Gas turbine จะมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับ Internal combustion engine ก็ต่อเมื่อขนาดมากกว่า 800 kWel ขึ้นไป

- **การใช้ Boiler** โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตน้ำร้อนและไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สิ่งสำคัญที่สุดในการเลือกระบบใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพก็คือขนาดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน) รูปแบบความต้องการพลังงาน และความเป็นไปได้ในการส่งพลังงานออกสู่ภายนอก ซึ่งหากมีความต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักและมีความเหมาะสมในการส่งไฟฟ้าส่วนเกินจากที่ใช้ในระบบออกสู่สายส่ง ระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่ควรเลือกใช้ก็คือ Gas engine (CHP engine) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้เพียงพอ สำหรับการใช้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่หากเป็นระบบขนาดใหญ่ มีความต้องการใช้พลังงานความร้อนในรูปแบบของไอน้ำเป็นหลักก็ควรพิจารณาเลือกใช้ Gas turbine หรือ Boiler เป็นต้นนอกเหนือจากการพิจารณาจากรูปแบบความต้องการพลังงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญซึ่งควรพิจารณา ได้แก่ ต้นทุนในการติดตั้ง ค่าเดินระบบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ความยากง่ายในการเดินระบบ ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน และปริมาณการปล่อยออก (Emission) ของก๊าซมลพิษ เป็นต้น

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

4.2 การใช้พลังงานด้วยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ

การใช้พลังงานด้วยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปการใช้พลังงานด้วยก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบต่างๆ

การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ	รายละเอียด
1. Internal Combustion Reciprocation Engines	➤ ใช้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบ มีการใช้งานกันมากในสหรัฐอเมริกา
2. Medium Btu Fuel	➤ ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรมเตาเผาากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและใช้ในการให้ความอบอุ่นกับอาคารบ้านเรือน ➤ ข้อดีคือมีค่าติดตั้งและค่าดำเนินการและบำรุงรักษาที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพแต่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางที่จะวางระบบท่อขนส่งก๊าซไปยังผู้ใช้ซึ่งควรมีระยะทางไม่เกิน 1 ไมล์
3. เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง (High Btu Fuel)	➤ โดยการนำก๊าซชีวภาพไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อแยกก๊าซที่ไม่ต้องการออกไปและได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถบรรทุก รถบัส และยานพาหนะอื่นๆ หรือใช้ในภาคอุตสาหกรรม หรือส่งเข้าระบบท่อก๊าซธรรมชาติ
4. Microturbine	➤ มีลักษณะเป็น Gas Turbine Generator ขนาดเล็กที่ผลิตกระแสไฟฟ้าแทน IC Engine หรือ GCT
5. Combined Cycle Plant (CCP)	➤ ประกอบด้วย Gas Combustion Turbine (GCT) ตั้งแต่นั้นตัวขึ้นไป และ Hot Exhaust Gas ที่ต่อกับ Heat Recovery Steam Generator (HRSG) โดยไอน้ำความดันสูงจาก HRSG จะถูกใช้ในการขับเคลื่อน Steam Turbine Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
6. Fuel Cells	➤ ใช้หลักการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ และนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในกระบวนการ Catalytic และใช้ Fuel Cells หลากๆ หน่วยมาผลิตกระแสไฟฟ้า

4.3 การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงขยะ

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในรูปของพลังงาน มีดังต่อไปนี้

- 1) ใช้ในสถานที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ (On-site) โดยร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน

เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด หรือ Gasification หรือ Pyrolysis

- 2) ใช้ในสถานที่อื่นที่ต้องมีการขนส่ง (Off-site) โดยมีอุปกรณ์การที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด หรือ Gasification หรือ Pyrolysis
- 3) เตาใหม่ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ถ่านหิน หรือชีวมวล
- 4) เตาใหม่ในเตาผลิตปูนซีเมนต์
- 5) ใช้ร่วมกับถ่านหินหรือชีวมวลในกระบวนการ Gasification

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ขับเคลื่อนการดำเนินการ^[19] “โครงการก่อสร้างระบบกำจัดขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง” RDF (Refuse Derived Fuel) และปุ๋ยอินทรีย์ ที่เป็นเทคโนโลยีของคนไทยพัฒนาใช้เอง และดำเนินการจนเห็นผลแล้วหลายพื้นที่ โดยโครงการนี้ได้รับการจัดสรรงบประมาณในปี 2559 ซึ่งถือเป็นการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยอย่างเป็นรูปธรรม และรับรองผลได้เป็นครั้งแรก โดยรัฐบาลบูรณาการ 5 กระทรวงที่เกี่ยวข้อง เพื่อตอบโจทย์ที่กบวาระแห่งชาติดังกล่าว ด้วยนโยบาย 4 ข้อคือ

1. การเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy) ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยนำขยะมาเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิง แล้วนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม หรือผลิตไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิต ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วย

2. “การส่งเสริมบัญชีนวัตกรรมไทย” ซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกภาครัฐ ในการเชื่อมโยงระหว่างผลงานวิจัย ที่ สกว. และ กระทรวงพลังงาน ได้สนับสนุนการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยให้มีการขึ้นทะเบียนเป็นนวัตกรรมไทย เพื่อนำมาผลิตสู่เชิงพาณิชย์ อย่างมีคุณภาพและได้มาตรฐาน ซึ่งเทคนิคการกำจัดขยะนี้ได้นำเทคโนโลยีระบบการจัดการขยะเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงของ ม.เทคโนโลยีสุรนารี มาพัฒนาต่อยอด ซึ่งนับเป็นตัวอย่างที่ดีของการบูรณาการงานวิชาการกับงานด้านปฏิบัติ

3. “กลไกประชารัฐ” ที่ภาควิชาการสนับสนุนด้านเทคโนโลยี ภาครัฐ สนับสนุนงบประมาณ และชุมชนท้องถิ่น นำไปสร้างระบบเพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ และ SCG ลงนาม MOU รับซื้อระบบกำจัดขยะนี้ทั้งหมดที่ผลิตได้โดยนวัตกรรมไทย เป็นการสร้างความเข้มแข็ง และมั่นคงที่ยั่งยืนให้กับชุมชน ไม่ใช่แค่เพียงด้านเศรษฐกิจ แต่รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

4. “Thailand 0” ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้ ถือเป็นการนำเอานวัตกรรมมาปรับใช้ในการใช้ ในการใช้ชีวิตประจำวัน และดูแลสิ่งแวดล้อม ขับเคลื่อนให้นวัตกรรมไทย ขยายได้ ปลุกพลังนักวิจัยไทยให้ค้นคว้าเพื่อพัฒนาประเทศ และช่วยสะท้อนว่า Thailand 4.0 นั้น เกี่ยวข้องกับทุกด้านของการดำเนินชีวิต ของพวกเราทุกคน ไม่ใช่เฉพาะเพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น

นอกจากการสร้างระบบกำจัดขยะนี้จะสอดคล้องกับมาตรการในประเทศของรัฐบาลแล้ว ยังสามารถตอบโจทย์นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของโลกอีก 2 ด้าน คือ

- (1) การช่วยลดก๊าซเรือนกระจกจากบ่อขยะ ที่เป็นบ่อเกิดของก๊าซมีเทน สาเหตุของภาวะโลกร้อน
- (2) การสนับสนุนให้เกิดเศรษฐกิจสีเขียวที่กิจกรรมทางเศรษฐกิจต่าง ๆ ทำให้พี่น้องประชาชนกินดีอยู่ดี ไม่กระทบสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศเป็นการประหยัดทรัพยากรทำให้การพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน

ขณะที่ประเทศเรากำลังปวดหัวกับปัญหาขยะล้นเมืองไม่รู้จะจัดการกับปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นทุกวันได้อย่างไร ประเทศสวีเดนที่มีประชากรราว 9.5 ล้านคน กำลังขาดแคลนขยะ จนต้องนำเข้าขยะจากประเทศเพื่อนบ้าน อย่างนอร์เวย์ และอีกหลายๆประเทศในยุโรป ปีละกว่า 800,000 ตัน เพื่อนำมาป้อนโครงการผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานที่ได้จากขยะสามารถนำมาใช้ให้ความอบอุ่นกับบ้านเรือนได้มากถึง 20% หรือ 810,000

หลัง และยังสามารถป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับบ้านเรือนได้อีก 250,000 หลัง และดูจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยประเทศสวีเดนเริ่มต้นโครงการนำขยะกลับมาใช้ใหม่นี้ตั้งแต่ปี 1940 ในขณะที่ประเทศอื่นๆในโลกยังไม่มีใครตระหนักหรือสนใจกับปัญหาขยะและคิดถึงเรื่องรีไซเคิล แต่สวีเดนกลับเริ่มต้นโครงการในการคัดแยกขยะ และนำขยะกลับมาใช้เป็นพลังงาน จนปัจจุบันสวีเดนสามารถพัฒนาเทคโนโลยีที่นำขยะกลับมาใช้เป็นพลังงานได้ โดยแทบไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ ความสำเร็จของโครงการไม่ได้มีเพียงเทคโนโลยี แต่ต้องขอบคุณประชากร 9.5 ล้านคน ที่มีความตระหนักถึงปัญหา และร่วมมือกับโครงการ รวมถึงกฎหมายที่เข้มงวด ความร่วมมือในการจัดเก็บและคัดแยกขยะในสวีเดนเป็นเรื่องที่น่าทึ่งมาก เพราะขยะเกือบทั้งหมดถูกนำกลับไปใช้ใหม่ได้ เหลือเพียง 4% เท่านั้น ที่ไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่และต้องนำไปถมที่ ในทางตรงข้ามประเทศอย่างสหรัฐอเมริกาขยะมากถึง 63% ไม่ได้ถูกนำกลับมาใช้ใหม่แต่ต้องนำไปใช้ถมที่ โรงงานนำขยะมาผลิตกระแสไฟฟ้าในสวีเดนมีความต้องการใช้ขยะ 2 ล้านตันในแต่ละปี เพื่อนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า จึงไม่มีขยะมากพอมาป้อนให้กับโรงงาน และต้องมีการนำเข้าขยะจากประเทศเพื่อนบ้าน^[20]

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (พลังงานจากขยะ) มกราคม 2554
- [2] <http://www.gekgasifier.com>
- [3] http://www.knowledgebank.irri.org/index.php?option=com_zoo&view=item&layout=item&Itemid=1049
- [4] http://nett21.gec.jp/waste/data/waste_c-1.html
- [5] <http://www.eep.ebara.com/en/products/gas.html>
- [6] <http://www.engineeringfundamentals.net/AnaerobicReactors/fundamentals.htm>
- [7] <http://www.tridentinno.com.my/technologies/anaerobic-treatment-systems/>
- [8] <http://watertreaters.com/d203.html>
- [9] Tilley, E. (2008). *Compendium of sanitation systems and technologies*. Eawag.
- [10] <http://www.rcmdigesters.com/rcm-technology/covered-lagoon/>
- [11] <http://ensoplastics.com/theblog/?tag=landfill-gas>
- [12] <http://www.hgcinc.com/landfillIMG1.htm>
- [13] <https://www.epa.gov/landfills/bioreactor-landfills>
- [14] <http://wastebusters.com.pk/refuse-derived-fuel/>
- [15] webkc.dede.go.th/testmax/sites/.../files/บทความสถานการณ์การผลิตพลังงานจากขยะ.pdf
- [16] <http://www.conserve-energy-future.com/waste-to-energy.php>
- [17] http://nett21.gec.jp/waste/data/waste_c-1.html
- [18] <http://www.deqp.go.th/service-portal/news-system/news-detail/?id=10211>
- [19] <http://www.thaiquote.org/content/11079>
- [20] <https://www.iurban.in.th/greenery/sweden-import-trash/>