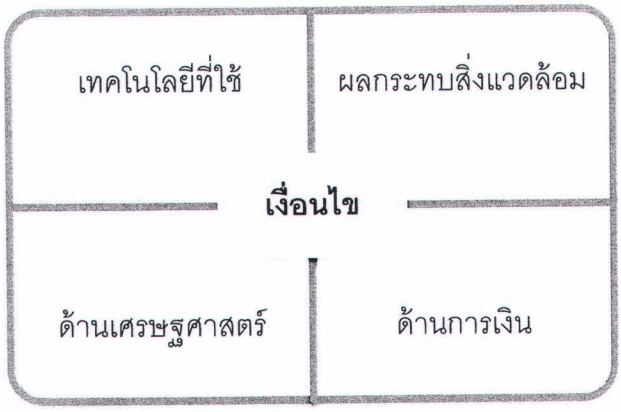
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
การศึกษาเงื่อนไขการลงทุน

จากปริมาณขยะมูลฝอยที่มากเกินระบบการกำจัดในปัจจุบันจะสามารถรองรับได้ ทำให้ถูกนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ซึ่งการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีดังกล่าวไม่ได้เป็นการกำจัดมูลฝอยอย่างแท้จริง เนื่องจากไม่สามารถลดปริมาตรของขยะมูลฝอยได้ อีกทั้งวิธีการดังกล่าวยังไม่สามารถนำพลังงานที่แฝงอยู่ในมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นในการศึกษานี้จะกล่าวถึงเฉพาะเทคโนโลยีที่การกำจัดมูลฝอยที่สามารถผลิตพลังงานได้ เนื่องจากสามารถมีรายได้จากพลังงานที่ผลิตได้ และทำให้ระบบเกิดความยั่งยืน

ในการพิจารณาแนวทางเลือกในการกำจัดมูลฝอยชุมชนนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายประการ แต่ที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก ก็คือตัวคุณสมบัติของวัตถุดิบนั่นคือ ขยะมูลฝอยที่จะรับเข้าระบบ เพื่อนำมาพิจารณาเลือกเทคโนโลยีที่จะสามารถใช้กำจัดขยะมูลฝอยต่อไป ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของชุมชนกรณีศึกษาเป็นเกาะ ดังนั้นจึงส่งผลให้ขยะมูลฝอยที่รับเข้าระบบมา จะมีความชื้นสูง ความร้อนต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีเช่นกัน

สำหรับในแนวทางการพิจารณาเงื่อนไขในการลงทุน แบ่งออกได้ ดังนี้



4.1 ด้านการคัดเลือกเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน

ในบทนี้จะศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของเทคโนโลยี จุดแข็งและข้อจำกัด รวมถึงการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคโนโลยีนั้นๆ มาใช้ในการผลิตพลังงาน การเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่มี

ความเป็นไปได้ ไปจนถึงการจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีเพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุด

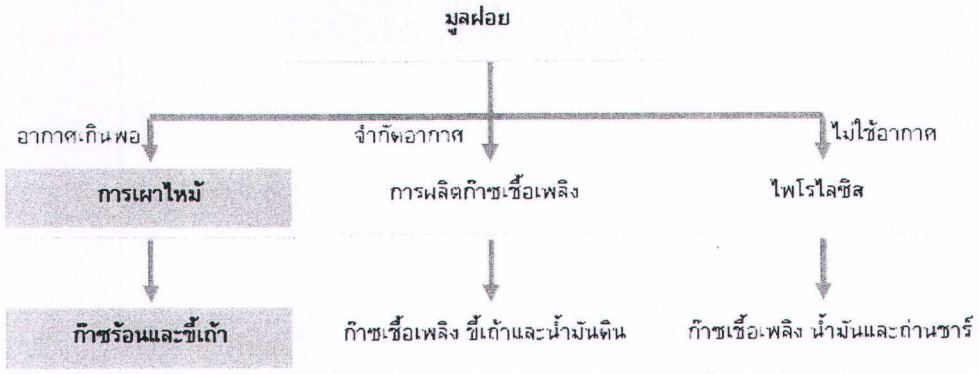
4.1.1 เทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน

โดยทั่วไป เทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยที่สามารถผลิตพลังงานได้ แบ่งออกได้เป็น 3 หมวดใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

- เทคโนโลยีทางความร้อน ซึ่งเป็นการใช้กระบวนการทางความร้อนในการกำจัดมูลฝอย ได้แก่
  - เทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย (Incineration)
  - เทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification)
  - เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)
- เทคโนโลยีทางชีวภาพ โดยจะใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายมูลฝอยให้เป็นก๊าซชีวภาพ ได้แก่
  - เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
  - เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย (Landfill Gas to Energy)
- เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากมูลฝอย (Refuse Derived Fuel, RDF) โดยเป็นเทคโนโลยีขั้นกลางในการเตรียมเชื้อเพลิงจากมูลฝอย เพื่อนำไปใช้ในการผลิตพลังงานต่อไป

4.1.1.1 เทคโนโลยีทางความร้อน (Thermal Technology)

เทคโนโลยีทางความร้อนเป็นการใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้มูลฝอยเกิดการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking) โดยกระบวนการดังกล่าวต้องการความร้อนจากภายนอก (Endothermic Process) เพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนแล้ว มูลฝอยบางส่วนอาจทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารออกซิไดเซอร์ ซึ่งจะทำให้มูลฝอยเปลี่ยนสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ กระบวนการดังกล่าวนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermal Process) ทำให้สามารถนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการผลิตพลังงานได้ หรืออาจนำ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกสลายด้วยความร้อนไปผ่านกระบวนการเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพื่อนำไปผลิตพลังงานต่อไป การกำจัดมูลฝอยด้วยกรรมวิธีทางความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Incineration) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง(Gasification) และเทคโนโลยีไพโรไลซิส (Pyrolysis) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกำจัดมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีทางความร้อน [6]

4.1.1.1.1 เทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย

หลักการทำงาน

เทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย (Incineration) หรือการเผาไหม้มวลโดยตรง (Mass Burn System) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างเชื้อเพลิงและสารออกซิไดเซอร์ซึ่งอาจเป็นอากาศหรือออกซิเจน โดยมีการใส่ปริมาณสารออกซิไดเซอร์เข้าไปมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้สมบูรณ์ คือ ก๊าซร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาคายความร้อน เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย คือการทำลายมูลฝอย ดังนั้นจึงทำให้มวลและปริมาตรของมูลฝอยจะหายไปอย่างรวดเร็ว การเผาไหม้ในเตาเผามูลฝอยทำให้สามารถลดมวลของมูลฝอยลงได้ถึงร้อยละ 70 และลดปริมาตรลงได้ถึงร้อยละ 90 อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นการเผาไหม้โดยตรงทำให้มีการใช้สารออกซิไดเซอร์เป็นจำนวนมากป้อนเข้าสู่บริเวณโซนเผาไหม้ ทำให้ปริมาตรก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากตามไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบควบคุมมลพิษอากาศด้านหลังโซนเผาไหม้ ตารางที่ 4.1-1 แสดงจุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย

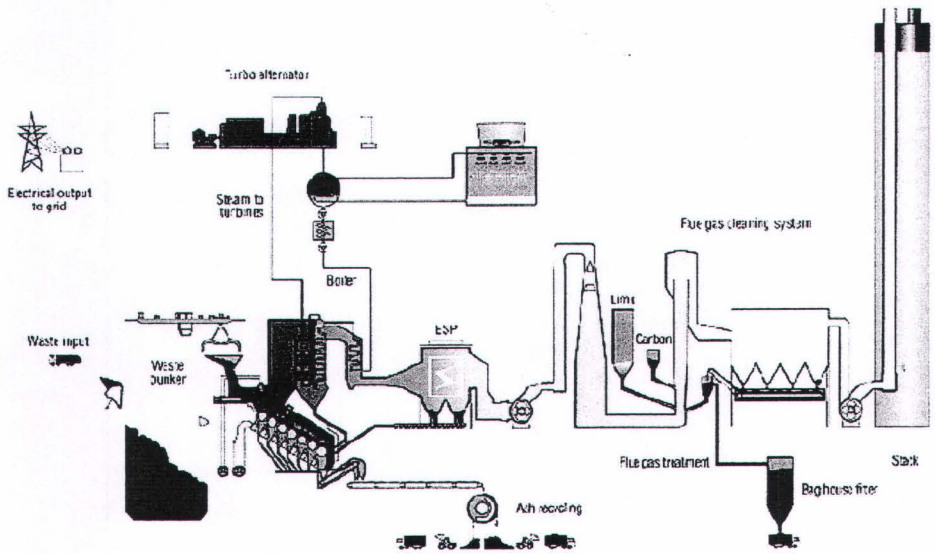
ตารางที่ 4.1 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
- มีความยืดหยุ่นต่อชนิดมูลฝอยสูง - ลดมวลและปริมาตรได้มาก - เวลาในการกำจัดสั้น	- เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูง - ขนาดเล็กสุดที่สามารถผลิตพลังงานได้ไม่ต่ำกว่า

- ผลิตพลังงานได้มากที่สุด - ใช้พื้นที่ระบบน้อยที่สุด	250 ตันต่อวัน - เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่ยังไม่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้เองในประเทศ - ปัญหาเรื่องการยอมรับของประชาชน

การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์

เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้เป็นกระบวนการคายความร้อน ดังนั้นก๊าซไอเสียจากห้องเผาไหม้จึงมีอุณหภูมิสูงประมาณ 750-1,000 องศาเซลเซียส [2] ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปสำหรับก๊าซที่จะส่งไปยังระบบควบคุมมลพิษก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการลดอุณหภูมิของก๊าซก่อนโดยการใช้หม้อน้ำเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่อยู่ในก๊าซไอเสียเป็นน้ำร้อนหรือไอน้ำ อุปกรณ์สำหรับการผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำ ได้แก่ หม้อน้ำร้อน หม้อไอน้ำความดันต่ำ และหม้อไอน้ำความดัน น้ำร้อนหรือไอน้ำที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการอุตสาหกรรมหรือเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 ระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีเตาเผามูลฝอย [5]

4.1.1.1.2 **เทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น** (Pyrolysis/Gasification)

หลักการทำงาน

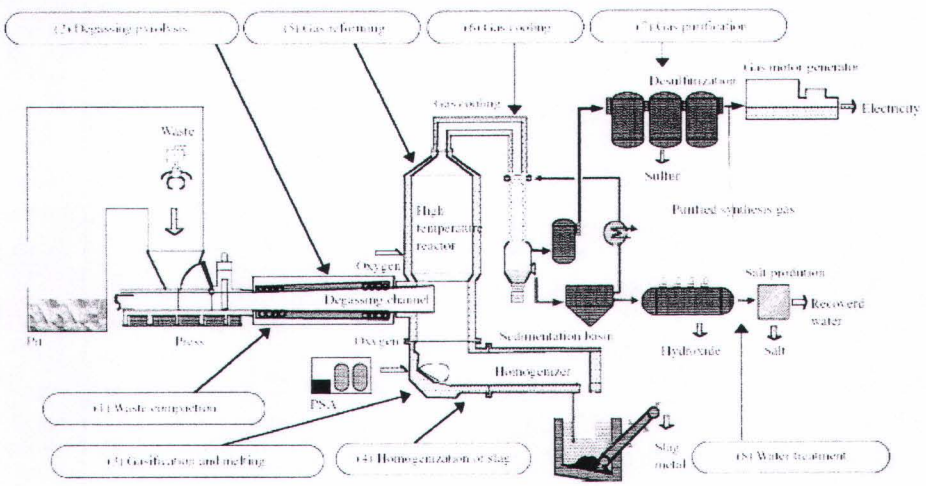
เทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคู่ควบกัน และเป็นกระบวนการย่อยที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ กล่าวคือมูลฝอยเมื่อถูกทำให้แห้งโดยการระเหยความชื้นทิ้งไปแล้วจะนำความร้อนจากการเผาไหม้ก่อนหน้านี้มาทำให้ตัวเองเกิดการแตกสลายทางความร้อนและกลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ขณะเดียวกัน มักมีการจ่ายออกซิไดซ์เซอร์เข้ามาบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาด้วยเพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้บางส่วน (Partial Oxidation) ซึ่งจะได้ความร้อนเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาและนำไปใช้ในกระบวนการแตกสลายทางความร้อน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น มักเกิดคู่ควบกัน อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาดังกล่าวมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของสภาวะการทำงานและผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังแสดงไว้แล้วในรูปที่ 4.1 การนำเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่นมาใช้ในการกำจัดมูลฝอยจะแตกต่างจากการใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักไม่ใช่การทำลายมูลฝอยให้สิ้นซากไป (Destruction) แต่เป็นการเปลี่ยนรูป (Conversion) มูลฝอยซึ่งอยู่ในสภาพเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปประโยชน์ได้กล่าวคือเชื้อเพลิงก๊าซที่ได้อาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) หรือเครื่องยนต์กังหันก๊าซ (Gas Turbine Engine) หรือเพื่อการเผาไหม้โดยตรงในเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Burner in Steam Generator) หรืออาจนำไปผ่านกระบวนการต่างๆที่จำเป็นเพื่อสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือใช้ในอุตสาหกรรมเคมีต่อไป ตารางที่ 4.2 แสดงจุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น

ตารางที่ 4.2 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
- เป็นเทคโนโลยีที่สะอาด - ลดมวลและปริมาตรได้มาก - เวลากำจัดสั้น - สามารถผลิตพลังงานได้แม้ระบบมีขนาดเล็ก - สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้เองในประเทศ	- เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสูงสำหรับระบบขนาดใหญ่ - เหมาะกับมูลฝอยที่มีความชื้นต่ำและค่าความร้อนสูง

การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่นมีหลายประเภท เช่น ถ่านชาร์ น้ำมันที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและก๊าซเชื้อเพลิง ถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมูลฝอยจะมีค่าความร้อนสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งสำหรับอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและปูนซีเมนต์น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมูลฝอยซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 25 เมกกะวัตต์ต่อกิโลกรัม สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่ทั้งนี้จะต้องมีการกำจัดอนุภาคฝุ่นหรือผงชาร์ที่อาจปะปนอยู่ในน้ำมันไพโรไลซิสออกก่อนโดยใช้ไซโคลน นอกจากนี้หากมีการนำน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไปปรับปรุงคุณภาพ ในกระบวนการเคมีจะทำให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูงขึ้น รวมทั้งการผลิตก๊าซไฮโดรเจน (H_2) จากน้ำมันไพโรไลซิส เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับใช้ในรถยนต์เซลล์เชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไพโรไลซิสด้วยกระบวนการที่กล่าวถึงข้างต้น ยังคงอยู่ในช่วงการศึกษาวิจัยไม่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน ก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชั่นจะมีค่าความร้อนประมาณ 4-6 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรที่สภาวะปกติ ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นสารออกซิไดเซอร์ และหากใช้ออกซิเจนเป็นสารออกซิไดเซอร์ ก๊าซเชื้อเพลิงจะมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นสูงถึงสองเท่าตัว คือประมาณ 10-15 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรที่สภาวะปกติ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้โดยตรงในหม้อน้ำ กังหันก๊าซ หรือในเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าได้ รูปที่ 4.3 แสดงระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น และตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชั่นร่วมกับระบบผลิตพลังงานชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.3 ระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น [5]

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชั่นร่วมกับระบบผลิตพลังงานชนิดต่างๆ [5]

ระบบผลิตพลังงาน	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (MWe)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
เครื่องยนต์ก๊าซ	0.3-30	21
กังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ	5-200	50
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องยนต์ก๊าซ	0.05-1.5	30

4.1.1.1.3 **เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค** (Plasma Arc)

หลักการทำงาน

เทคโนโลยีพลาสมาได้ถูกนำ มาใช้ในการให้ความร้อนในอุตสาหกรรมโลหะการและอุตสาหกรรมเคมี เทคโนโลยีพลาสมาใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ความร้อนกับก๊าซ เช่น ออกซิเจนหรือไนโตรเจน ที่ความร้อนสูง อาจมากกว่า 3,000 องศาเซลเซียส ก๊าซร้อนนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ การเชื่อม การตัด หรือการจัดการกากของเสีย ในการประยุกต์ใช้ พลาสมาอาร์ค ก๊าซซิฟิเคชั่น (Plasma Arc Gasification) กับกากของเสีย ปริมาณของออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาจำเป็นต้องควบคุมอย่างระมัดระวังเช่นเดียวกับระบบ Gasification เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ (Combustion) และเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Gasification การทำให้เกิดความร้อนจัดในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา และทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์แตกตัวออกมาเป็นโครงสร้างพื้นฐานอย่างง่ายของก๊าซ เช่นคาร์บอบมอนอกไซด์ (CO),ก๊าซไฮโดรเจน (H2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีพลาสมาจะมีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการกำจัดมูลฝอยยังอยู่ในระดับการศึกษาวิจัย ยังไม่มีการใช้จริงในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ

ตารางที่ 4.4 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค [5]

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
- สามารถลดมวลและปริมาตรของมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ - เหมาะสำหรับการกำจัดของเสียอันตรายเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก สามารถหลอมละลายขี้เถ้าให้กลายเป็น slag ได้	- ยังไม่มีการนำมาใช้กำจัดมูลฝอยในเชิงพาณิชย์ - ยังอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา - ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในการดำเนินระบบให้มีอุณหภูมิสูง - ค่าลงทุนและค่าดำเนินการสูงมาก

4.1.1.2 **เทคโนโลยีชีวภาพ** (Biological Technology)

เทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานด้วยกระบวนการทางชีวภาพเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในมูลฝอยด้วยจุลินทรีย์และทำให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ เทคโนโลยีดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็นเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

4.1.1.2.1 **เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน** (Anaerobic Digestion)

หลักการทำงาน

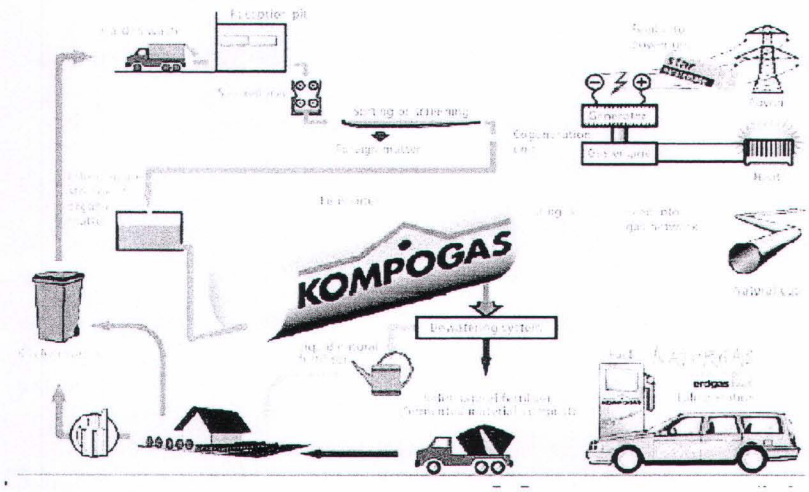
เทคโนโลยีนี้ใช้กระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ในระบบไม่ใช้ออกซิเจนมาบำบัดของเสียอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ ไปเป็นสารที่มีโมเลกุลที่เล็กลงเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ก๊าซชีวภาพที่มีส่วนประกอบสำคัญคือ ก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้กากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการย่อยสลายยังสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินหรือปุ๋ยอินทรีย์ได้อีกด้วย แต่เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อจำกัด คือ สามารถรองรับได้เฉพาะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกมูลฝอยประเภทรีไซเคิลและของเสียอันตรายออกก่อน ระบบจึงจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตารางที่ 4.5 แสดงจุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ตารางที่ 4.5 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
- เป็นเทคโนโลยีสะอาด - องค์ประกอบมูลฝอยในประเทศมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูง - เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน สามารถพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศได้เอง (ยกเว้นระบบผลิตพลังงาน)	- มูลฝอยในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยแบบทิ้งรวม ยากต่อการคัดแยก - ต้องมีการพัฒนาสายพันธ์จุลินทรีย์ที่ให้ gas yield สูงและทนทานสภาพสิ่งแวดล้อมได้ดี - ต้องสร้างตลาดให้กับสารปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อเพิ่มรายได้ให้ระบบ

การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์

โดยทั่วไปการนำระบบนี้มาใช้กำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน จะใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบมาใช้ผลิตพลังงานในหลากหลายรูปแบบ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ(Natural Gas) โดยมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 เมกกะจูล/ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะปกติ [2] (ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นองค์ประกอบ) โดยปกติก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ จะต้องมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 55-70 (โดยปริมาตร) การผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมจากก๊าซชีวภาพสามารถเลือกใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์ก๊าซ กังหันก๊าซหรือหม้อไอน้ำ นอกจากนี้ หากนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปปรับปรุงคุณสมบัติให้ใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติก็จะสามารถนำก๊าซชีวภาพนั้นมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนเพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง หรือนำก๊าซชีวภาพนี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะได้ รูปที่ 4.4 แสดงระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน



รูปที่ 4.4 ระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน [5]

4.1.1.2.2 **เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย** (Landfill Gas to Energy)

หลักการทำงาน

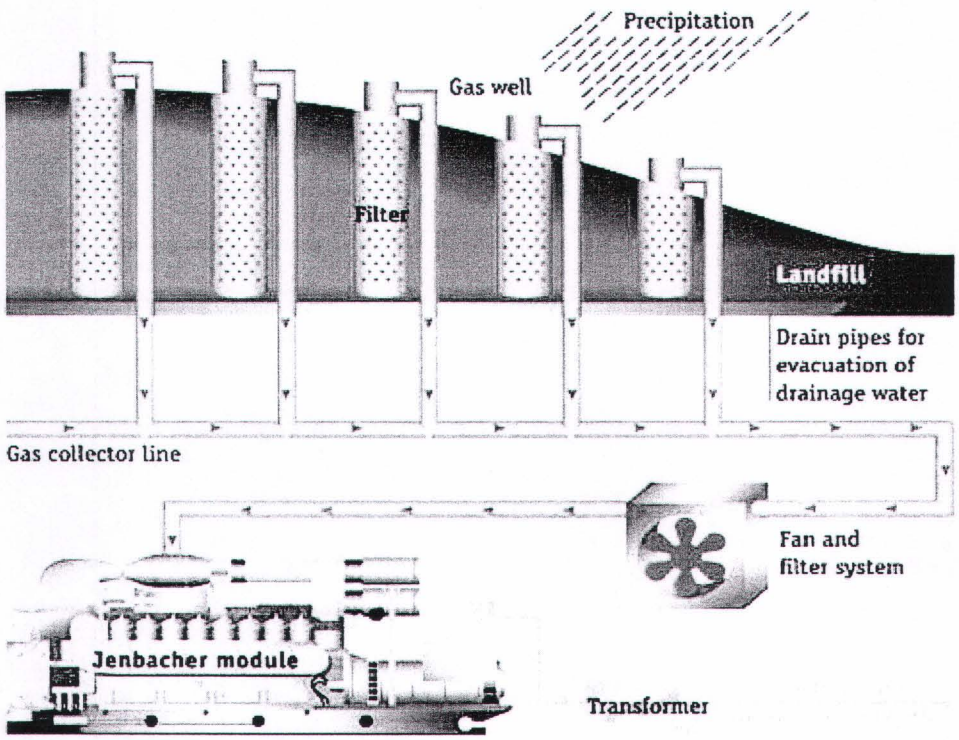
เทคโนโลยีนี้เป็นการนำมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ง่ายมาฝังกลบโดยมีการขุดหลุมฝังกลบให้มีความลึกตามที่ได้ออกแบบไว้ ดำเนินการเทมูลฝอยลงไปเกลี่ยให้ทั่วหลุมและกลบด้วยดินให้แน่น กระบวนการผลิตก๊าซจะใช้กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเพื่อให้เกิดจุลินทรีย์ในช่วงแรก จากนั้นจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่ย่อยสลายมูลฝอยที่เหลือในสภาวะแบบไม่ใช้อากาศ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนในหลุมฝังกลบมูลฝอยได้ถูกใช้หมดไปแล้วในขั้นตอนแรก ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นซึ่งจะมีก๊าซมีเทน (CH4) เป็นองค์ประกอบหลักจะถูกเก็บรวบรวมและส่งผ่านท่อใต้ดินเพื่อนำไปผลิตพลังงานตารางที่ 4.6 แสดงจุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

ตารางที่ 4.6 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
- หลุมฝังกลบมีอยู่แล้วจำนวนมาก เทคโนโลยีจะช่วยลดการปล่อยมีเทน - ลดความเสี่ยงในการระเบิดหรือเพลิงไหม้บริเวณฝังกลบ - เทคโนโลยีไม่ซับซ้อนมากนัก สามารถพัฒนาองค์ความรู้ขึ้นเองได้ในประเทศ	- การพยากรณ์อัตราเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับปัจจัยหลากหลาย ยากต่อการพยากรณ์ - ขาดองค์ความรู้เรื่องการเก็บก๊าซ การทำความสะอาด และการผลิตพลังงาน - ใช้พื้นที่มาก ไม่เหมาะกับชุมชนที่เป็นเกาะ

การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่าความร้อนประมาณ 19.7 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรที่สภาวะปกติ ประกอบด้วยก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 55 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct Use) ในหม้อไอน้ำสำหรับผลิตพลังงานความร้อน หรือนำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในประเภทต่างๆ เช่น เครื่องยนต์ก๊าซ กังหันก๊าซ รวมทั้งใช้เป็นเชื้อเพลิงใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยรูปที่ 4.5 แสดงระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ



รูปที่ 4.5 ระบบผลิตพลังงานจากมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ [5]

4.1.1.3 **เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากมูลฝอย** (Refuse Derived Fuel, RDF)

เทคโนโลยีเชื้อเพลิงจากมูลฝอยไม่ได้มีวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดหรือทำลายมูลฝอย เหมือนกับเทคโนโลยีความร้อนหรือเทคโนโลยีชีวภาพ เพียงแต่เป็นการเปลี่ยนรูปมูลฝอยโดยคัดเลือกองค์ประกอบของมูลฝอยที่มีพลังงานสูงมาสู่กระบวนการในการคัดแยกและแปรรูปเป็นมูลฝอยเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel, RDF) ที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานต่อไป เทคโนโลยีดังกล่าวมีข้อได้เปรียบเนื่องจากสามารถกระจายไปดำเนินการตามจุดต่างๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดมูลฝอยได้โดยไม่ต้องมีการขนย้ายมูลฝอยไปสู่แหล่งกำจัด มูลฝอยเชื้อเพลิงที่ได้สามารถเก็บรักษาและนำไปผลิตพลังงานได้เมื่อเวลาที่ต้องการโดยไม่ต้องมีการใช้พลังงานทันที เหมือนกับสองเทคโนโลยีแรก

หลักการทำงาน

เนื่องจากมูลฝอยชุมชนมีความหลากหลายในองค์ประกอบต่างๆ รวมทั้งมีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง ส่งผลให้มีค่าความร้อนต่ำ สิ่งเหล่านี้ก่อความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบเทคโนโลยีทางความร้อนและผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังส่งผลให้การควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำ

ได้ยาก การแปรรูปมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของมูลฝอยเพื่อทำให้กลายเป็นมูลฝอยเชื้อเพลิง(Refuse Derived Fuel: RDF)จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้

มูลฝอยเชื้อเพลิง (RDF) หมายถึง มูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่าง ๆ เช่น การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ออก การฉีกหรือตัดมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ มูลฝอยเชื้อเพลิงที่ได้นี้จะมีค่าความร้อนสูงกว่า หรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่สม่ำเสมอกว่า

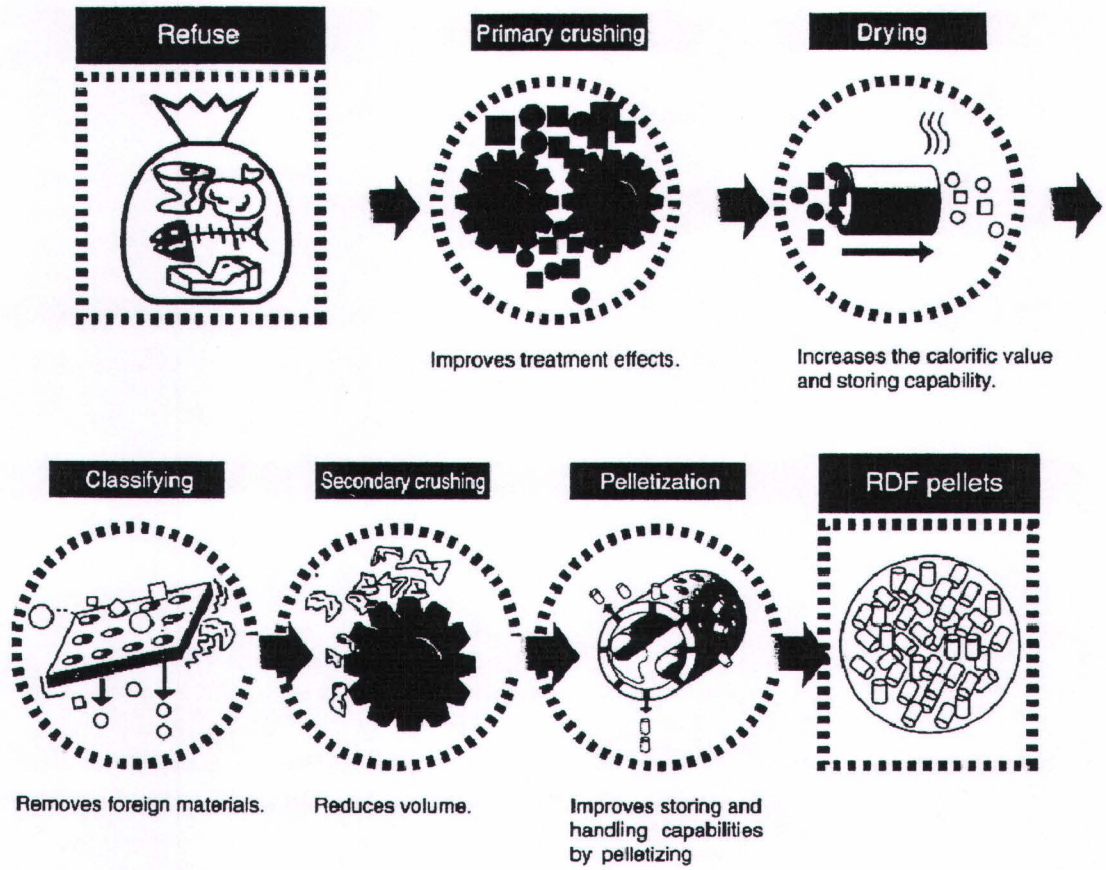
การแปรรูปมูลฝอยให้กลายเป็นเชื้อเพลิงนั้น จำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการไม่ว่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมูลฝอยเชื้อเพลิงที่ต้องการ กระบวนการการจัดการทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (1) การคัดแยกที่แหล่งกำเนิด (2) การคัดแยกด้วยมือหรือเครื่องจักร (3) การลดขนาด (4) การแยกขนาด (5) การผสม (6) การทำให้แห้งและการอัดแท่ง และ (7) การบรรจุและการเก็บ ดังแสดง ในรูปที่ 4.6

การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์

มูลฝอยเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะมีค่าความร้อนสูงกว่ามูลฝอยทั่วไป และมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เช่นมีรูปร่างสม่ำเสมอ มีการผสมขององค์ประกอบเป็นเนื้อเดียวกันเป็นต้น สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเทคโนโลยีทางความร้อน ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีเตาเผาหรือเทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่นเพื่อใช้ผลิตพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 4.7 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการผลิตมูลฝอยเชื้อเพลิง

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความร้อนสูง - สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปจำหน่ายได้โดยตรงหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้เพื่อผลิตพลังงาน - สามารถกระจายดำเนินการตามจุดต่างๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดมูลฝอยได้โดยไม่ต้องมีการขนย้ายไปสู่แหล่งกำจัด - เชื้อเพลิงที่ได้สามารถเก็บรักษาได้และนำไปผลิตพลังงานได้เมื่อเวลาที่ต้องการ	- ไม่ใช่วิธีการกำจัดมูลฝอย เป็นเพียงการเปลี่ยนรูปมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.6 กระบวนการผลิตมูลฝอยเชื้อเพลิง [6]

4.1.2 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน

ในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน เพื่อให้เห็นภาพรวมของเทคโนโลยีต่างๆ และเพื่อให้ง่ายต่อการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมูลฝอย จึงทำการเปรียบเทียบโดยพิจารณาเกณฑ์ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบเงื่อนไขในการพิจารณาด้านเทคโนโลยีที่เลือกใช้ [5]

ลำดับ	เงื่อนไขด้านเทคโนโลยี	เทคโนโลยีเตาเผา	เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น	เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ	เทคโนโลยีการผลิตมูลฝอยเชื้อเพลิง
1	ลักษณะมูลฝอยที่เหมาะสม	เหมาะสำหรับมูลฝอยทิ้งรวมทุกประเภท แต่ต้องมีความชื้นไม่สูงเกินไป เพราะจะทำให้ค่าความร้อนต่ำ ทำให้อาจจำเป็นต้องใส่เชื้อเพลิงเสริมเข้าไปช่วยการเผาไหม้	สามารถกำจัดมูลฝอยทิ้งรวมได้ แต่โดยทั่วไปต้องมีการคัดแยกมูลฝอยก่อนเข้ากระบวนการ เช่น ลดขนาด, ลดความชื้น	สามารถรองรับมูลฝอยทิ้งรวมได้ เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซเป็นกระบวนการย่อยสลาย ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จึงควรคัดแยกเฉพาะมูลฝอยที่ย่อยสลายง่ายมาใช้	สามารถรองรับมูลฝอยทิ้งรวมได้
2	การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบมูลฝอย	ไม่มีผลต่อการทำงานของเตาเผามากเท่าไหร่	มีผลต่อการทำงานของระบบ	มีผลต่อการทำงานของระบบ	สามารถปรับเปลี่ยนการเดินระบบได้ตามการเปลี่ยนแปลง
3	พลังงานที่ผลิตได้	ขึ้นกับค่าความร้อนของมูลฝอย โดยปกติ หากค่าความร้อน 6-9 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 0.58-0.97 กิโลหน่วย/ตัน	พลังงานที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้	ปริมาณมูลฝอยในหลุมฝังกลบ 1-3 ล้านตัน จะผลิตก๊าซได้ 6-32 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี	อยู่ในรูปค่าความร้อนของมูลฝอยเชื้อเพลิง
4	ขนาดพื้นที่ที่ต้องการในการติดตั้งระบบ	ขนาด 250/ตันต่อวัน ใช้พื้นที่ 43,000 ตรม.	อ้างอิงได้จากระบบเตาเผา โดยอาจมีขนาดเล็กกว่า เนื่องจากอุปกรณ์บางส่วนมีขนาดเล็กกว่า	ขึ้นกับการออกแบบ เช่นความลึกของชั้นฝังกลบ การดำเนินการฝังกลบ โดยจะมีพื้นที่ที่ต้องการ > 88.5 ไร่ สำหรับมูลฝอย 1 ล้านตัน ที่ความลึกในการฝังกลบ 35 ฟุต	ขึ้นกับองค์ประกอบของระบบ ขนาดเครื่องจักร และความสามารถในการรองรับมูลฝอย

4.1.3 การจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน

4.1.3.1 เกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญ

- **แนวทางการกำหนดเกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญ**

การจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีพิจารณาเกณฑ์หลักๆ 4 ด้าน คือ

- *การประยุกต์ใช้และผลจากการนำไปใช้* (Practicability and Performance) ซึ่งรวมถึง ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ ความปลอดภัย ทักษะทางเทคนิคของผู้ปฏิบัติการ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความยากง่ายในการนำไปใช้

- *เศรษฐศาสตร์* (Economics) ซึ่งรวมถึง ค่าการลงทุนติดตั้งระบบ ค่าการผลิตไฟฟ้าและ/หรือความร้อน ค่าจากการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และระยะเวลาคุ้มทุน

- *ระดับการพัฒนาเทคโนโลยี* (Maturity of technology) ซึ่งรวมถึง สถานภาพในปัจจุบันและระยะเวลาที่คาดว่าจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีไปใช้ในเชิงพาณิชย์

- **เกณฑ์การให้คะแนน**

ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญ ได้กำหนดให้เกณฑ์ (Criteria) แต่ละข้อ มีระดับคะแนน (Rate) ตั้งแต่ 1-5 โดยที่ผลกระทบด้านบวกจะได้คะแนนสูง ส่วนผลกระทบด้านลบจะได้คะแนนต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เกณฑ์และระดับคะแนนในการจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยี

เกณฑ์การประเมิน	คะแนน
1. การประยุกต์ใช้และผลจากการนำไปใช้	**ทั้งหมด**
1.1 ประสิทธิภาพ	1 — 5 low
1.2 ความน่าเชื่อถือ	1 — 5 low
1.3 ความปลอดภัย	1 — 5 low
1.4 ทักษะทางเทคนิคของผู้ปฏิบัติการ	1 — high skill required
1.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	1 — 5 strong impact
1.6 ความยากง่ายในการนำไปใช้	1 — 5 difficult
2. เศรษฐศาสตร์	**ทั้งหมด**
2.1 ค่าการลงทุนติดตั้งระบบ	1 — 5high cost
2.2 ค่าการผลิตไฟฟ้าและหรือความร้อน	1 — 5 high cost
2.3 จากการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	1 — 5 high cost
2.4 ระยะเวลาคุ้มทุน	1 — 5 low/slow
3. ระดับการพัฒนาเทคโนโลยี	**ทั้งหมด**

3.1 สถานภาพในปัจจุบัน	1 = ระดับการวิจัยและพัฒนา 2 = ระดับการนำร่องต้นแบบ 3 = ระดับการสาธิตทดสอบ 4 = ได้รับการพิสูจน์ 5 = ระดับเชิงพาณิชย์เต็มระบบ
3.2 ระยะเวลาที่คาดว่าจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีไปใช้เชิงพาณิชย์	1 = > 10 ปี 2 = 7 – 10 ปี 3 = 5 – 7 ปี 4 = 3 – 5 ปี 5 = 0 – 3 ปี

4.1.3.2 **ผลการจัดลำดับความสำคัญ**

- **ประเภทของเทคโนโลยีที่ทำการจัดลำดับ**

ในการคัดเลือกเทคโนโลยีเพื่อทำการจัดลำดับ ได้พิจารณาบริบทของพื้นที่ศึกษา รวมถึงความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงานมาใช้งานในประเทศไทย พบว่า เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีพลาสมาอาร์ก ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจาก

1) เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ฝังกลบของชุมชนกรณีศึกษา ซึ่งมีสภาพเป็นเกาะ และไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการฝังกลบ ซึ่งต้องใช้พื้นที่มากกว่าเทคโนโลยีอื่น

2) เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค ซึ่งจากการศึกษาระดับการพัฒนาของเทคโนโลยีและความเหมาะสมในการนำมาใช้ พบว่าเป็นเทคโนโลยีที่อยู่ในขั้นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ยังไม่มีการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสูง

ดังนั้นในการจัดลำดับ จึงได้พิจารณาเทคโนโลยีจำนวน 4 เทคโนโลยี ดังนี้

เทคโนโลยี 1: เทคโนโลยีเตาเผา (Incineration)

เทคโนโลยี 2: เทคโนโลยีไพโรไลซีส/แก๊สซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification)

เทคโนโลยี 3: เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel)

เทคโนโลยี 4: เทคโนโลยีหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)

- **ผลการจัดลำดับ**

จากการประมวลผลคะแนนโดยคำนวณค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ (Criteria) แต่ละข้อ เพื่อศึกษาจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละเทคโนโลยีที่ความสามารถในการกำจัดขนาด 400 ตันต่อวัน (เนื่องจากเป็นระบบที่มีความประหยัดเชิงเศรษฐศาสตร์ : economy of scale : สูงสุด) ผลการประมวลคะแนนตามหลักเกณฑ์การลำดับความสำคัญของ 4 เทคโนโลยีที่ได้กล่าวมา แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีที่ความสามารถในการกำจัด 400 ตันต่อวัน

เกณฑ์การประเมิน	เทคโนโลยี (ความสามารถ 400 ตัน/วัน)			
	เทคโนโลยี 1: Incineration	**เทคโนโลยี 2:** Pyrolysis/Gasification	**เทคโนโลยี 3:** RDF	**เทคโนโลยี 4:** Anaerobic Digestion
1. การประยุกต์ใช้และผลจากการนำไปใช้ (มากที่สุด = 5)	3.75	3.17	4.00	2.67
1.1 ประสิทธิภาพ	5.0	5.0	4.0	2.0
	กำจัดมูลฝอยได้แห้ง90-95%	กำจัดมูลฝอยได้แห้ง90-95%	เปลี่ยนมูลฝอยแห้งเป็นเชื้อเพลิงได้ 95%	กำจัดมูลฝอย 50-60%
1.2 ความน่าเชื่อถือ	4.5	3.0	4.0	2.0
	มีการใช้งานกับมูลฝอยทั่วไปในระดับการค้า อย่างแพร่หลาย	มีการใช้งานกับมูลฝอยในระดับเครื่องต้นแบบ	มีการใช้งานกับมูลฝอยในระดับกึ่งอุตสาหกรรม	มีการใช้งานเฉพาะมูลฝอยอินทรีย์ในระดับการค้า
1.3 ความปลอดภัย	4.0	3.5	4.0	3.5
	มีความร้อน ความดันภายในระบบเป็นลบไม่ระเบิด	มีความร้อน ความดันในระบบเป็นบวกเล็กน้อย ไม่ระเบิด	ไม่มีความร้อน ไม่มีความดัน ไม่ระเบิด	ไม่มีความร้อน แต่มีความดันในระบบ ต้องคอยตรวจสอบการรั่วไหล มีการเกิดก๊าซเร็ว
1.4 ทักษะพนักงานที่ต้องการ	4.0	2.5	4.0	3.0
	ระบบซับซ้อน แต่ไม่ต้องควบคุมมูลฝอย	ระบบซับซ้อน แต่ต้องควบคุมลักษณะเฉพาะมูลฝอย	ระบบไม่ซับซ้อน	ระบบซับซ้อน แต่ต้องควบคุมเชื้อเพลิง
1.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (พิจารณาจากไดออกซิน)	2.0	3.5	4.0	3.5
	มีการปล่อยไดออกซิน	มีโอกาศปล่อยไดออกซินน้อย	ไม่มีการปล่อยไดออกซิน	มีโอกาสปล่อยไดออกซินน้อย
1.6 ความง่ายในการดำเนินการ	3.0	2.5	4.0	2.0
	ไม่ต้องเตรียมมูลฝอย	ต้องการเตรียมเชื้อเพลิง	ไม่ต้องเตรียมมูลฝอย	ต้องใช้กับมูลฝอยเปียกเท่านั้น

ตารางที่ 4.10 ผลการจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีที่ความสามารถในการกำจัด 400 ตันต่อวัน [ต่อ]

เกณฑ์การประเมิน	เทคโนโลยี (ความสามารถ 400 ตัน/วัน)			
	เทคโนโลยี 1: Incineration	**เทคโนโลยี 2:** Pyrolysis/Gasification	**เทคโนโลยี 3:** RDF	**เทคโนโลยี 4:** Anaerobic Digestion
2. เศรษฐศาสตร์ (มากที่สุด = 5)	3.13	2.38	3.38	2.88
2.1 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	3.50	2.00	3.50	3.00
	ระบบขนาดใหญ่จึงมีการลงทุนสูง	ระบบขนาดเล็กแบ่งเป็นชุดๆ	ระบบขนาดเล็กแบ่งเป็นชุดๆ	ระบบใหญ่ต้องการระบบคัดแยก
2.2 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	3.00	2.50	3.50	3.00
	ผลิตไฟฟ้าได้น้อยเนื่องจากมูลฝอยมีความชื้น	ระบบช่วยทำให้มูลฝอยแห้งผลิตไฟฟ้าและความร้อนได้มาก	มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนได้มาก	ผลิตไฟฟ้าและความร้อนได้น้อยจากมูลฝอยอินทรีย์เท่านั้น
2.3 ค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อม	2.00	3.00	3.50	2.50
	มีปล่อยก๊าซมลพิษ มีน้ำเสียและฝุ่นละออง	มีปล่อยมลพิษน้อย (จากมูลฝอยทั้งหมด)	ปล่อยฝุ่นละอองอย่างเดียว	มีการปล่อยมลพิษน้อย แต่มีน้ำเสีย (จากมูลฝอยเปียกเท่านั้น)
2.4 ผลตอบแทนจากการลงทุน/การคืนทุน	4.00	2.00	3.00	3.00
	ระบบใหญ่ ลงทุนสูง ผลิตไฟฟ้าได้น้อย คืนทุนช้า	ระบบเล็กลงทุนน้อย ผลิตไฟฟ้าได้มาก คืนทุนเร็ว	ระบบเล็กลงทุนน้อย ขายเชื้อเพลิงได้เลย คืนทุนเร็ว	ระบบเล็กลงทุนน้อย ผลิตไฟฟ้าได้น้อย คืนทุนช้า
3. ระดับการพัฒนาเทคโนโลยี (มากที่สุด = 5)	5.00	2.50	3.00	3.00
3.1 สถานภาพในปัจจุบัน	5.00	3.00	3.00	3.00
	ใช้งานเชิงพาณิชย์	ระดับพิสูจน์ว่าใช้ได้จริง	ระดับเครื่องต้นแบบ	ระดับพิสูจน์ว่าใช้ได้
3.2 ระยะเวลาที่คาดว่าจะสามารถพัฒนาในเชิงพาณิชย์	5.00	2.00	3.00	3.00
	0-3 ปี	3-5 ปี	3-5 ปี	3-5 ปี
คะแนนรวม (คะแนนมากที่สุด = 3 x 5 = 15)	11.87	8.04	10.37	8.54
คะแนน (%)	59.35	40.20	51.85	42.70

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยรวมของแต่ละเทคโนโลยีจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incineration Technology) และ เทคโนโลยีการเปลี่ยนขยะเป็นเชื้อเพลิง (RDF Technology) เป็นกลุ่มเทคโนโลยีกำจัดขยะที่มีเปอร์เซ็นต์ที่สูงคือ มากกว่า 70% ซึ่งจากการวิเคราะห์การนำเทคโนโลยีการเตาเผาขยะมูลฝอย พบว่าหากดูจากเกณฑ์หลักๆแต่ละข้อแล้วนั้นจะพบว่า มีความเป็นไปได้สูงมากในทุกๆด้าน เช่น ในด้านการนำไปใช้โดยประสิทธิภาพการทำงานของระบบค่อนข้างสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดขยะมูลฝอยสูงมาก มีความเป็นไปได้สูง มีความยืดหยุ่นในการดำเนินการสูง ขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดำเนินการไม่สูงมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีใช้อย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้ยังเป็นกลุ่มเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อนำมาใช้เองในประเทศได้ต่อไป

ในส่วนของเทคโนโลยีการเปลี่ยนขยะเป็นเชื้อเพลิง ก็ยังเป็นเทคโนโลยีที่มีความจำเป็นที่จะนำมาใช้กับการกำจัดขยะมูลฝอยในชุมชน สำหรับขยะที่เกินจากประสิทธิภาพจากเตาเผาขยะ และเนื่องจากขยะในหลุมฝังกลบของชุมชนในปัจจุบันมีจำนวนมากจึงจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณขยะในหลุมฝังกลบด้วยเช่นกัน

รองลงมาคือกลุ่มที่ได้คะแนนอยู่ระหว่าง 50 – 70 % ซึ่งได้แก่ เทคโนโลยีการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) และเทคโนโลยีไพโรไลซีส/แก๊สซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification Technology) พบว่า มีความเป็นไปได้ในระดับปานกลาง โดยเทคโนโลยีการหมักแบบไร้อากาศนั้นจะใช้ได้ผลดีหากมีการคัดแยกขยะอินทรีย์ออกมาจากขยะที่ทิ้งรวมกันมา สำหรับเทคโนโลยีไพโรไลซีส/แก๊สซิฟิเคชั่น แม้ว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างมาก แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยียังอยู่ในระดับโรงงานต้นแบบหรือโรงงานสาธิต ค่าการลงทุนเทคโนโลยียังค่อนข้างแพง

4.1.4 การคัดเลือกเทคโนโลยีเฉพาะของ – เทคโนโลยีเตาเผาขยะ

จากการประมวลผลคะแนนโดยคำนวณค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ (Criteria) แต่ละข้อ และศึกษาจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของชุมชน ซึ่งเป็นขยะที่ทิ้งรวมกัน โดยไม่มีการแยก และเหมาะสำหรับใช้ดำเนินงานในช่วงเวลาเปลี่ยนถ่ายจากการให้ประชาชนเปลี่ยนพฤติกรรมจากการทิ้งขยะรวม มาเป็นการแยกทิ้งขยะเปียกออกจากขยะแห้ง พบว่า **เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator)** มีความเหมาะสมกับการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนมากที่สุด เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยสามารถกำจัดขยะได้ทั้งขยะเปียก

และขยะแห้ง เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องการการจัดการขยะเบื้องต้น สามารถกำจัดขยะที่เก็บขนได้จากต้นทางได้โดยตรง

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยเองก็ยังมีเทคโนโลยีแยกย่อยออกไปอีก ดังนี้

1) เตาเผาแบบ Moving Grate เป็นเตาเผาขยะแบบตระกรับเคลื่อนที่
2) เตาเผาแบบหมุน (rotary kiln incinerator) เป็นระบบเตาเผาแบบหมุน
3) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Incinerator) ทำงานโดยอาศัยหลักการที่อนุภาคของแข็งที่รวมตัว

ดังนั้นในการคัดเลือกเทคโนโลยีเฉพาะของโครงการ จะได้ศึกษาเทคโนโลยีแต่ละประเภทโดยละเอียดเพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง ข้อจำกัด เพื่อการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

4.1.4.1 เตาเผาแบบ Moving Grate

เตาเผาขยะแบบการเผาไหม้มวลเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งประกอบด้วยตะกรับที่สามารถเคลื่อนที่ได้และมีการเผาไหม้อยู่บนตระกรับนี้ โดยขณะเผาไหม้ ตะกรับจะเคลื่อนที่และลำเลียงขยะจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย

ก้ามปูของ Overhead crane จะทำหน้าที่จับขยะเพื่อป้อนลงไปในช่องป้อนก่อนที่จะหล่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเตาเผาด้วยแรงโน้มถ่วง เมื่อขยะมูลฝอยตกลงไปวางบนตะกรับแล้ว ความร้อนในเตาเผาจะทำให้ขยะแห้งก่อนที่จะเกิดการเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิสูงกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ขี้เถ้า (รวมทั้งส่วนประ กอบของขยะส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้) จะหลุดออกจากตะกรับในลักษณะของ slag/bottom ash ผ่านหลุมถ่ายขี้เถ้า

ตะกรับจะทำหน้าที่เป็นเสมือนพื้นผิวด้านล่างของเตา การเคลื่อนที่ของตะกรับหากได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องจะทำให้ขยะมีการขนย้ายและผสมผสานกันอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแทรกซึมไปทั่วถึงพื้นผิวของขยะ ตะกรับอาจถูกจัดแบ่งให้เป็นพื้นที่ย่อยเฉพาะซึ่งทำให้สามารถปรับปริมาณอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ได้อย่างอิสระและทำให้สามารถเผาไหม้ได้แม้ขยะที่มีค่าความร้อนต่ำ

ผนังของห้องเผาไหม้ในเตาเผาขยะมักเป็นแบบบุด้วยอิฐทนไฟ (refractory wall) หรือแบบผนังน้ำ (water wall) สำหรับแบบหลังนี้ส่วนมากจะปฏิบัติงานโดยใช้อากาศส่วนเกินในปริมาณต่ำซึ่งช่วยให้ลดปริมาตรของห้องเผาไหม้และลดขนาดของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ

ตารางที่ 4.11 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีเตาเผาแบบ Moving Grate

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
— ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน — เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้วสำ หรับการเผาทำ ลายขยะมูลฝอยและมีสมรรถนะตรงตามวัตถุประสงค์ — สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความ ร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี — สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 85% — เตาเผาแต่ละเตาสามารถก่อสร้างให้มีความสามารถในการ เผาทำลายได้ถึง 1,200 ตันต่อวัน (50 ตันต่อชั่วโมง)	— เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

4.1.4.2 **เตาเผาแบบหมุน** (rotary kiln incinerator)

ระบบเตาเผาแบบหมุนเป็นการเผาไหม้มวลของขยะมูลฝอยโดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน ขยะจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ

เตาเผาแบบหมุนส่วนใหญ่จะเป็นแบบผนังอิฐทนไฟ แต่ก็มีบ้างที่เป็นแบบผนังน้ำทรงกระบอก อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และยาวตั้งแต่ 8 ถึง 20 เมตร ความสามารถในการเผาทำลายขยะมูลฝอยมีตั้งแต่ 2.4 ตันต่อวัน (0.1 ตันต่อชั่วโมง) จนถึงประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง)

อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้จะมีปริมาณที่มากกว่าแบบที่ใช้กับเตาเผาแบบตะกรับและอาจจะมากกว่าที่ใช้กับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วย สิ่งที่ตามมาก็คือ เตาเผาแบบหมุนจะมีประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80

เนื่องจากว่าเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (retention time) ของก๊าซไอเสียค่อนข้างสั้นเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเตาทรงกระบอกจึงมักมีส่วนต่อที่ทำเป็นห้องเผาไหม้หลัง (after-burning chamber) และมักรวมอยู่ในส่วนของหม้อน้ำด้วย

ตารางที่ 4.12 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีเตาเผาหมุน (Rotary kiln)

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
– ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน – สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 80% – สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี	– เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้ในการเผาทำลายขยะมูลฝอยค่อนข้างน้อย – เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง – ความสามารถในการเผาทำลายสูงสุดต่อหนึ่งเตาประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง)

4.1.4.3 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดทำงานโดยอาศัยหลักการที่อนุภาคของแข็งที่รวมตัวเป็น bed ในเตาเผาผสมเข้ากับขยะมูลฝอยที่ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ถูกทำให้ลอยตัวขึ้นอันเนื่องมาจากอากาศที่เป่าเข้าด้านข้างทำให้มันมีพฤติกรรมเหมือนกับของไหล เตาเผาโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตั้งและวัสดุที่ทำ bed มักทำมาจากทรายซิลิกา หินปูน หรือวัสดุเซรามิคส์

การใช้งานเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดอยู่ในขั้นเริ่มต้นเนื่องจากมีการพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอยู่อย่างสม่ำเสมอ โดยเตาเผามีข้อได้เปรียบที่สามารถลดปริมาณสารอันตรายได้ และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลากหลายประเภท

ข้อเสียเปรียบหลักของเตาเผาแบบนี้อยู่ที่ต้องการกระบวนการในการจัดการขยะมูลฝอยเบื้องต้นก่อนที่จะสามารถป้อนเข้าสู่เตาเผาได้ เพื่อให้ขยะมูลฝอยมีขนาด ค่าความร้อน ปริมาณขี้เถ้าที่อยู่ข้างในและอื่นๆ เพื่อให้ตรงต่อข้อกำหนดในการปฏิบัติงานของเตาเผา และเนื่องจากขยะมูลฝอยมีลักษณะสมบัติที่หลากหลายจึงทำให้เกิดความยากลำบากในการทำให้ได้เชื้อเพลิงที่ตรงตามความต้องการ

ตารางที่ 4.13 จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

จุดแข็ง	ข้อจำกัด
— เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำเนื่องจากการออกแบบที่ค่อนข้างง่าย — สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึง 90% — สามารถใช้ในการเผาทำลายเชื้อเพลิงที่หลากหลาย ประเภทและสามารถรองรับได้ทั้งกากของแข็งและเหลว โดยเผาทำลายร่วมกันหรือแยกจากกัน	— ณ ปัจจุบันยังจัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังต้องการ การทดสอบอยู่สำหรับการเผาทำลายขยะมูล ฝอยชุมชน — ค่อนข้างมีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบ ของขยะ โดยทั่วไปต้องมีการกระบวนการใน การจัดการขยะก่อนส่งเข้าเตาเผา)

เมื่อนำมาเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญ จะแสดงได้ดังตารางที่ 4.14 โดยจากการให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดและคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยรวมของแต่ละเทคโนโลยี พบว่าเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบ moving grate มีความเหมาะสมกับการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน โดยมีคะแนนร้อยละ 76.88 โดยมีคะแนนสูงสุดในด้านเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา รวมถึงด้านระดับการพัฒนาเทคโนโลยีและความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีมาใช้กับพื้นที่ รองลงมาเป็นเทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน (rotary kiln incinerator) และเทคโนโลยีเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ตารางที่ 4.14 ผลคะแนนตามหลักเกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยที่ความสามารถในการกำจัด 700 ตันต่อวัน

เกณฑ์การพิจารณา	Incinerator Technology (Capacity 600 tons/day)		
	Tech 1: Moving Grate (Stoker)	Tech2: Rotary Kiln	Tech 3: Fluidized Bed
1. **การประยุกต์ใช้และผลจากการนำไปใช้** (Max. = 5)	4.13	4.00	3.50
1.1 ประสิทธิภาพ	5	3	3
1.2 พื้นที่ที่ใช้	5	5	5
1.3 ระยะเวลาที่ใช้	5	5	5
1.2 ความน่าเชื่อถือ	4	4	3
1.3 ความปลอดภัย	3	3	3
1.4 ทักษะทางเทคนิคของผู้ปฏิบัติการ	4	4	3
1.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	2	4	3
1.6 ความยากง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้	5	4	3

ตารางที่ 4.14 ผลคะแนนตามหลักเกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยที่ความสามารถในการกำจัด 700 ตันต่อวัน [ต่อ]

เกณฑ์การพิจารณา	Incinerator Technology (Capacity 600 tons/day)		
	Tech 1: Moving Grate (Stoker)	Tech2: Rotary Kiln	Tech 3: Fluidized Bed
2. **เศรษฐศาสตร์** (Max. = 5)	3.25	3	3.5
2.1 ค่าการลงทุนติดตั้งระบบ	2	2	4
2.2 ต้นทุนพลังงานที่ใช้	3	3	3
	ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 85%	ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 80%	ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 90%
2.3 ต้นทุนจากการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	4	3	3
	ต้องมีระบบลดมลพิษขนาดใหญ่	มีกระบวนการคัดแยกก่อน มลพิษน้อยกว่า	มีกระบวนการคัดแยกก่อน มลพิษน้อยกว่า
2.4 ระยะเวลาคุ้มทุน	4	4	4
	8 – 10 ปี	8 – 10 ปี	8 – 10 ปี
3. **ระดับการพัฒนาเทคโนโลยี** (Max. = 5)	4	3	2.5
3.1 สถานภาพในปัจจุบัน	4	3	3
	ระดับได้รับการพิสูจน์	ระดับการสาธิตทดสอบ	ระดับการสาธิตทดสอบ
3.2 ระยะเวลาในการพัฒนาเทคโนโลยีไปใช้ในเชิงพาณิชย์	4	3	2
	3 – 5 ปี	5 – 7 ปี	7 – 10 ปี
คะแนนทั้งหมด (คะแนนมากที่สุด = 4 x 5 = 20)	11.38	10.00	9.50

4.1.5 การคัดเลือกเทคโนโลยีเฉพาะของ - เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ

จากการประมวลผลคะแนนโดยคำนวณค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ (Criteria) แต่ละข้อ และศึกษาจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละเทคโนโลยีที่ความสามารถในการกำจัดขนาด 400 ตันต่อวัน ผลการประมวลคะแนนตามหลักเกณฑ์การลำดับความสำคัญของ 4 เทคโนโลยี พบว่า **เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ** (Refuse Derived Fuel) มีความเหมาะสมกับการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนเป็นอันดับถัดมา ทั้งนี้เนื่องจากระบบไม่มีความซับซ้อนมากนัก สามารถนำเชื้อเพลิงที่ได้มาผลิตเป็นพลังงาน ณ เวลา และสถานที่ที่ต้องการ นอกจากนี้ระบบยังสามารถได้วัสดุรีไซเคิลซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับเทศบาล นอกจากนี้ ระบบยังมีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนการเดินระบบได้ เมื่อองค์ประกอบขยะมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลง

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะเองก็ยังมีเทคโนโลยีแยกย่อยออกไปอีก ดังนี้

1) MT : Mechanical Treatment เป็นการคัดแยกขยะเชื้อเพลิงด้วยวิธีทางกล
2) MHT : Mechanical Heat Treatment ใช้ความร้อนในการคัดแยกขยะเชื้อเพลิง
3) MBT : Mechanical Biological Treatment ใช้วิธีการทางกลและวิธีการทางชีวภาพในการคัดแยกขยะเชื้อเพลิง
4) BMT : Biological Mechanical Treatment ใช้วิธีการทางชีวภาพและทางกลในการคัดแยกขยะเชื้อเพลิง

ดังนั้นในการคัดเลือกเทคโนโลยีเฉพาะของโครงการ จะได้ศึกษาเทคโนโลยีแต่ละประเภทโดยละเอียดเพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง ข้อจำกัด เพื่อการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

4.1.5.1 Mechanical Treatment (MT)

ระบบผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยเครื่องจักรกลเป็นการใช้วิธีการทางกล (เช่นการตัด การบด การลดขนาด การคัดขนาด การอัดแท่ง) ในการผลิตขยะเชื้อเพลิง ขยะมูลฝอยที่จะเข้าระบบจะถูกลำเลียงด้วยสายพานเพื่อผ่านเครื่องบดตัดขนาดหยาบ (Primary Crusher) ซึ่งจะใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อหมุนใบตัด เพื่อบดและตัดขยะมูลฝอยทั้งหมดให้มีขนาดที่คงที่ (ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องคัดแยก) จากนั้นจึงผ่านเข้าสู่เครื่องอบแห้ง (dryer) เพื่อลดความชื้นในขยะที่ผ่านการบดตัดแล้ว ขยะแห้งที่ได้จะผ่านเข้าสู่เครื่องคัดขนาด ซึ่งโดยทั่วไปออกแบบให้ใช้ถังทรงกระบอกซึ่งผนังของถังเจาะรูที่มีขนาดแตกต่างกันเพื่อให้ขยะที่มีขนาดตามที่ต้องการหลุดลอด

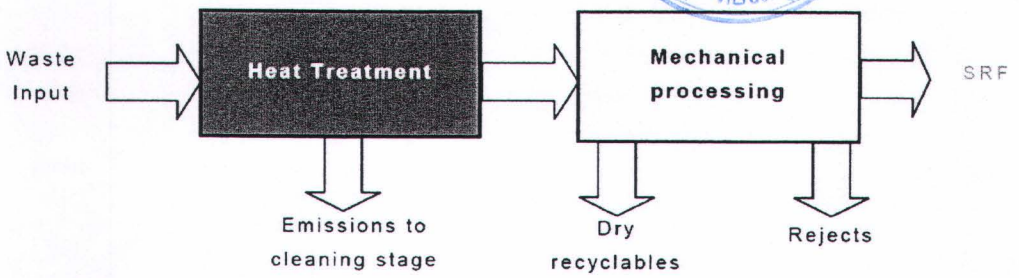
ออกมาได้ ขยะชิ้นที่ผ่านเครื่องคัดขนาดออกมาแสดงว่ายังมีขนาดที่ใหญ่เกินไป ก็จะถูกนำไปผ่านเครื่องบดตัดละเอียด (Secondary Crusher) เพื่อลดขนาดอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจะเคลื่อนไปผ่านแม่เหล็กเพื่อดูดวัสดุที่เป็นเหล็กและโลหะออกไป ส่วนที่เหลือจะเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ซึ่งจะผ่านเข้าสู่เครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่งเพื่อผลิตแท่งเชื้อเพลิงก่อนที่จะขนส่งออกไปใช้งานต่อไป เครื่องจักรประเภทต่างๆ ที่ใช้ในระบบผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยเครื่องจักรกล

ระบบดังกล่าวใช้อุปกรณ์ทางกลเป็นหลักในการทำงานและใช้ต้นกำลังในรูปของพลังงานไฟฟ้า เป็นระบบที่ต้องการค่าใช้จ่ายในรูปของค่าไฟฟ้าสูง อีกทั้งมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวมาก ทำให้มีการสึกหรอสูงและต้องการค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง นอกจากนี้ยังต้องการแรงงานคนจำนวนมากในการควบคุมการปฏิบัติงาน ยิ่งไปกว่านั้น หากพิจารณาลักษณะการทำงานของระบบจะพบว่า ขยะมูลฝอยสดที่เก็บขนมาจะถูกนำเข้าเครื่องบดตัด ซึ่งทำให้เกิดน้ำเสียขึ้นมาก และมีกลิ่นเหม็นตลอดการทำงาน รวมทั้งเป็นระบบที่อาจก่อให้เกิดการติดเชื้อได้เนื่องจากเชื้อโรคที่ปนเปื้อนมาในขยะมูลฝอยหรือขยะมูลฝอยที่ผ่านการหมักมาในภาชนะเก็บขน มีโอกาสแพร่เชื้อโรคได้

จากการวิเคราะห์จุดแข็งและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการคัดแยกด้วยเครื่องจักรกล จะพบว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะเหมาะสมกับกรณีที่มีการคัดแยกขยะเปียกออกจากขยะแห้งแล้ว แล้วนำเฉพาะขยะแห้งมาผ่านกระบวนการคัดแยกด้วยเครื่องจักรกลเพื่อคัดแยกวัสดุรีไซเคิลและ RDF อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เป็นขยะทิ้งรวม เทคโนโลยีดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการคัดแยกต่ำและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษามาก โดยเฉพาะศูนย์กำจัดขยะมีการใช้งานเทคโนโลยีดังกล่าวกับโรงคัดแยกขยะมูลฝอยขนาด 300 ตันต่อวันอยู่แล้ว แต่ไม่สามารถคัดแยกวัสดุรีไซเคิลได้ตามที่ออกแบบไว้

4.1.5.2 **เทคโนโลยีการบำบัดด้วยกระบวนการทางกล-ความร้อน** (Mechanical Heat Treatment : MHT)

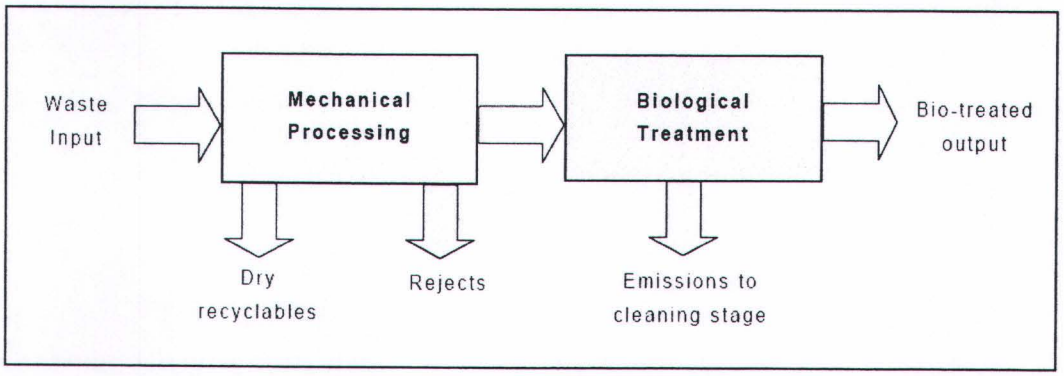
เทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางกล-ความร้อน เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นใน สหราชอาณาจักรเพื่อใช้ในการบำบัดขยะมูลฝอยเบื้องต้นก่อนส่งเข้าระบบกำจัดต่อไป รูปที่ 4.7 อธิบายกระบวนการดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วยการใช้ความร้อนที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดภายนอกเพื่อใช้ในการบำบัดขยะมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งจะทำให้สามารถลดความชื้นและทำให้ขยะได้รับการฆ่าเชื้อโดยการทำลายแบคทีเรียที่ปนเปื้อนมากับขยะมูลฝอย ก่อนที่จะนำเข้าไปคัดแยกวัสดุรีไซเคิลและเชื้อเพลิงในภายหลัง



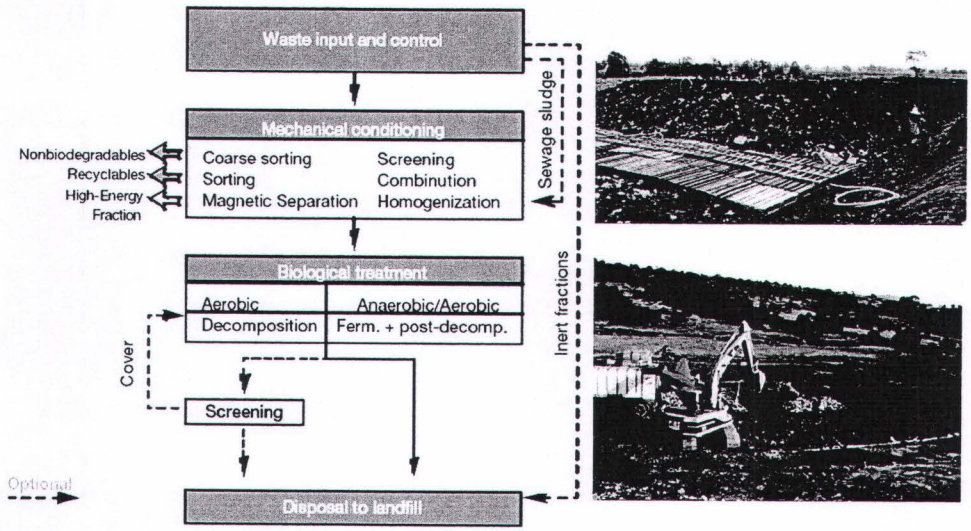
รูปที่ 4.7 ผังแสดงการทำงานของระบบบำบัดด้วยกระบวนการทางกล-ความร้อน [5]

4.1.5.3 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยด้วยกระบวนการทางกล-ชีวภาพ (Mechanical Biological Treatment : MBT)

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยด้วยกระบวนการทางกล-ชีวภาพ แสดงผังการทำงานของกระบวนการในรูปที่ 4.9 เป็นการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะโดยนำขยะที่เก็บขนมาได้ มาผ่านกระบวนการทางกลในการบด ตัด คัดแยก และลดขนาดก่อน ก่อนที่จะนำขยะที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วมาเข้ากระบวนการหมักด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ทั้งนี้เทคโนโลยี MBT มุ่งที่จะให้ได้เชื้อเพลิงที่จะนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นหลัก โดยระยะเวลาของกระบวนการจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ต้องการ โดยอาจใช้เวลาตั้งแต่ 1 – 4 เดือน และระบบจะใช้พื้นที่ในการทำงานมากกว่าระบบ MHT อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาจะต่ำกว่า และเหมาะสมกับขยะที่ผ่านกระบวนการคัดแยกให้เหลือเฉพาะขยะอินทรีย์เท่านั้น



รูปที่ 4.8 การทำงานของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยด้วยกระบวนการทางกล-ชีวภาพ [5]

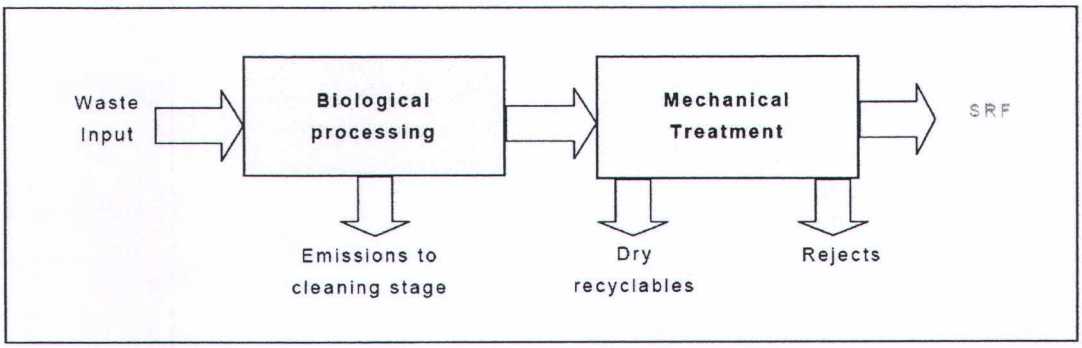


รูปที่ 4.9 กระบวนการของเทคโนโลยี MBT [5]

เทคโนโลยีดังกล่าวมีการนำมาใช้ในประเทศไทยที่เทศบาลนครพิษณุโลก โดยระบบจะใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานประมาณ 6 – 9 เดือนเพื่อให้ได้ขยะที่ผ่านการย่อยสลายก่อนนำมาคัดแยกเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิง และใช้พื้นที่ในการปฏิบัติงานมาก อย่างไรก็ตาม หากนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้กับศูนย์กำจัดขยะ จะมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ในการปฏิบัติงานซึ่งมีอยู่จำกัดและสภาพภูมิอากาศที่มีฝนตกบ่อยอาจก่อให้เกิดปัญหากับการหมักกลางแจ้งเป็นเวลา 6 – 9 เดือน

4.1.5.4 **เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล** (Biological Mechanical Treatment : BMT)

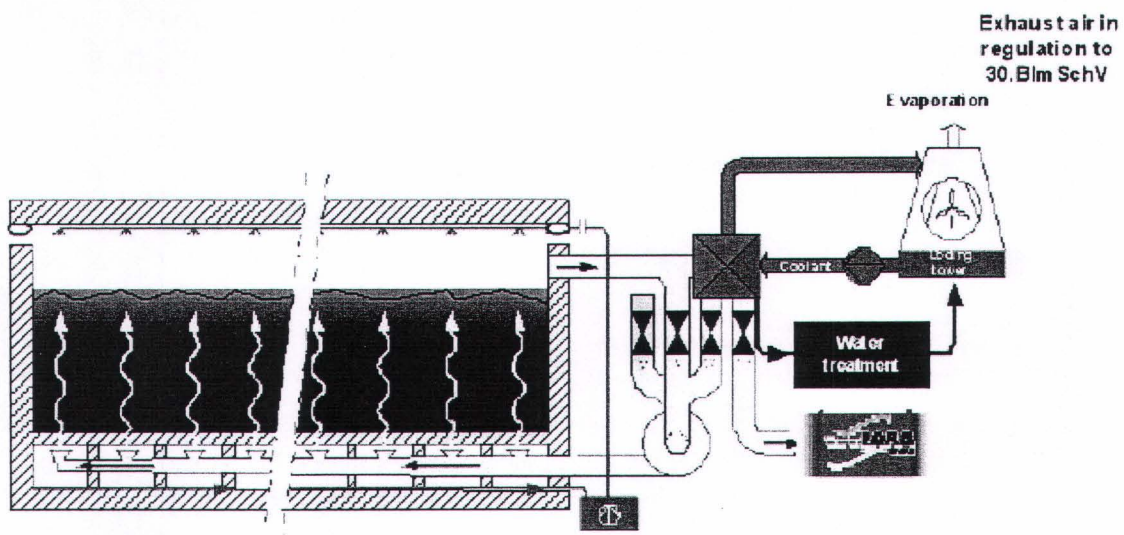
BMT เป็นการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะโดยการนำขยะที่เก็บขนมาได้ มาผ่านกระบวนการทางชีวภาพเพื่อหมักขยะอินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อขยะก่อน จากนั้นจึงนำขยะที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้วมาทำการบด ตัด คัดแยก ลดขนาดเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงจากขยะต่อไป ดังแสดงรายละเอียดของกระบวนการในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผังแสดงการทำงานของการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล [5]

เทคโนโลยี BMT อาจแบ่งออกได้อีกเป็นสองระบบย่อยดังนี้

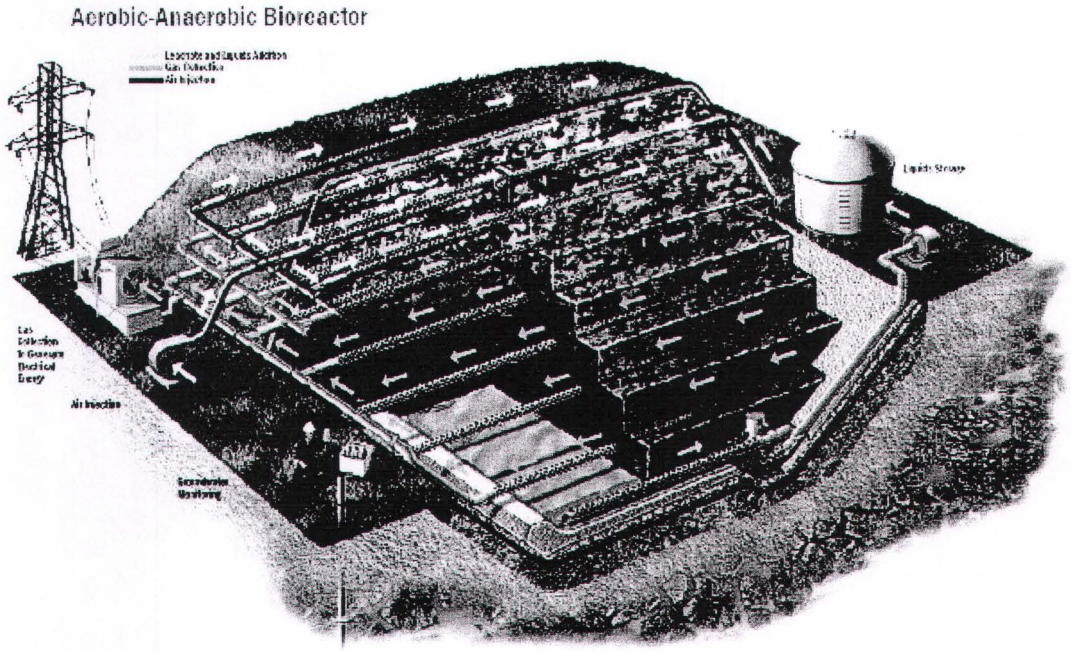
ก) ระบบการทำให้แห้งด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Bio-Dry Process) โดยเป็นระบบที่ใช้การหมักด้วยการเป่าอากาศเพื่อใช้ในย่อยสลายสารอินทรีย์ในเนื้อขยะ (รูปที่ 5.7) ปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เกิดขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะทำให้ความชื้นในขยะระเหยไปจนได้ขยะแห้ง ก่อนที่จะส่งเข้าไปผ่านกระบวนการคัดแยกต่อไป เป็นระบบที่เริ่มมีความนิยมใช้มากขึ้นในยุโรป เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานต่ำกว่าแบบ MHT อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวต้องการพื้นที่ในการปฏิบัติงานที่มากกว่าและใช้ระยะเวลาในการทำให้แห้งนานกว่า กล่าวคือประมาณ 7 – 10 วัน โดยขึ้นอยู่กับความชื้นในขยะมูลฝอย



รูปที่ 4.11 การทำให้แห้งด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Bio-dry) [5]

ข) <u>เทคโนโลยีการฝังกลบแบบเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (Bioreactor landfill)</u> ในระบบนี้ขั้นตอนของกระบวนการทางชีวภาพจะใช้การฝังกลบขยะในหลุมฝังกลบ (Sanitary Landfill) ที่มีการวางท่อเก็บรวบรวมน้ำเสียและท่อเก็บก๊าซชีวภาพ เมื่อปิดหลุมแล้วจะมีการสูบน้ำชะขยะมูลฝอย (leachate) เพื่อหมุนเวียนกลับเข้าไปในหลุมฝังกลบอีกครั้ง ซึ่งจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย ช่วยให้ขยะอินทรีย์ย่อยสลายได้เร็วขึ้นและได้ก๊าซชีวภาพออกมาในปริมาณมาก เมื่อกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว (ประมาณ 2 ปี) จึงทำการรื้อหลุมขยะเก่าเพื่อนำขยะมาผ่านกระบวนการคัดแยกและผลิตขยะเชื้อเพลิงในภายหลัง

ระบบดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับศูนย์กำจัดขยะ เนื่องจากมีพื้นที่ฝังกลบเดิมอยู่แล้ว สามารถดำเนินการขุดหลุมฝังกลบเดิมเพื่อขึ้นมาทำการคัดแยกและผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยและเตรียมพื้นที่สำหรับ Bioreactor Landfill ต่อไป การใช้ระบบดังกล่าวจะทำให้พื้นที่หลุมฝังกลบเดิมที่มีอยู่จะไม่มีวันเต็ม เนื่องจากสามารถหมุนเวียนนำพื้นที่ฝังกลบออกมาใช้ได้อย่างยั่งยืน



รูปที่ 4.12 การฝังกลบแบบเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ [6]

เมื่อทำการเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญ จะแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลคะแนนตามหลักเกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยที่ความสามารถในการกำจัด 400 ตันต่อวัน

เกณฑ์การพิจารณา	RDF Technology (Capacity 400 tons/day)				
	Tech 1: Mechanical	Tech2: Hot Air	Tech 3: Steam	Tech 4: Bio-dry	Tech 5: Bioreactor (BMT)
1. การประยุกต์ใช้และผลจากการนำไปใช้ (Max. = 5)	3.25	4.19	4.44	3.31	4.13
1.1 ประสิทธิภาพ	2	3	5	3	5
1.2 พื้นที่ที่ใช้	5	5	5	2	2
1.3 ระยะเวลาที่ใช้	5	5	5	2	2
1.2 ความน่าเชื่อถือ	3	4	4	5	5
1.3 ความปลอดภัย	2	4.5	4.5	4.5	5
1.4 ทักษะทางเทคนิคของผู้ปฏิบัติการ	4	4	4	4	5
1.5 Eผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	2	4	4	2	4
1.6 ความยากง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้	3	4	4	4	5
2. เศรษฐศาสตร์ (Max. = 5)	2.75	3.75	4	4	5
2.1 ค่าการลงทุนติดตั้งระบบ	3	4	4	4	5
2.2 ต้นทุนพลังงานที่ใช้	3	3	3	4	5
2.3 ต้นทุนจากการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	2	4	5	4	5
2.4 ระยะเวลาคุ้มทุน	3	4	4	4	5
3. ระดับการพัฒนาเทคโนโลยี (Max. = 5)	4	4	4	4	5
3.1 สถานภาพในปัจจุบัน	4	4	4	4	5
3.2 ระยะเวลาในการพัฒนาเทคโนโลยีไปใช้ในเชิงพาณิชย์	4	4	4	4	5
คะแนนทั้งหมด (คะแนนมากที่สุด = 3 x 5 = 15)	10.00	11.94	12.44	11.31	14.13
คะแนน (%)	50.00	59.69	62.19	56.56	70.63

โดยจากการให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดและคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยรวมของแต่ละเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยการฝังกลบแบบเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (Bioreactor Landfill) มีความเหมาะสมกับการจัดการขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะ โดยมีคะแนนร้อยละ 95.63 โดยมีคะแนนสูงสุดในด้านเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา รวมถึงด้านระดับการพัฒนาเทคโนโลยีและความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีมาใช้กับพื้นที่ รองลงมาเป็นเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะด้วยไอน้ำ โดยมีคะแนนร้อยละ 82.19 และเทคโนโลยีกระบวนการทางชีวภาพ-กลมีคะแนนร้อยละ 81.56 และวิธีการทำให้แห้งโดยใช้อากาศร้อน มีคะแนนร้อยละ 74.69 ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ที่ต้องใช้กับระบบ อย่างไรก็ตาม ในการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ อาจเปิดโอกาสให้เทคโนโลยีอื่นสามารถเสนอข้อกำหนดคุณสมบัติของเทคโนโลยีตนเข้าแข่งขันได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยี MT จะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง อีกทั้งลักษณะขยะมูลฝอยซึ่งมีการทิ้งขยะรวมกันมาทุกอย่าง ทำให้การคัดแยกขยะด้วยกระบวนการทางกล อาจก่อให้เกิดผลกระทบในเรื่องสุขอนามัย การปนเปื้อนเชื้อโรค รวมถึงกลิ่น ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวกับโครงการ

4.2 ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในบทนี้จะเป็นการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีเตาเผาขยะและเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย

4.2.1 เทคโนโลยีเตาเผาขยะ

มลพิษที่เกิดขึ้นจากเตาเผาขยะมูลฝอยโดยหลักแล้วเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้จะปลดปล่อยออกทางปล่องระบายไอเสียในรูปมลพิษอากาศ ซึ่งเทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยต้องการการควบคุมความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่ปลดปล่อยให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่แต่ละท้องที่กำหนด นอกจากนี้มลพิษที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือขี้เถ้าซึ่งอาจมีการปนเปื้อนโลหะหนักที่อยู่ในขยะมูลฝอย ทำให้ต้องมีการบำบัดเพื่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น

1) มลพิษอากาศ

มลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจากเตาเผาขยะมูลฝอยมีทั้งที่เป็นอนุภาคมลสาร (ฝุ่น) และก๊าซ เช่น HCl, HF และ SO_2 มลพิษที่มีความเป็นพิษเช่นปรอท ไดออกซินและ NO_x เหล่านี้สามารถนำออกมาจากก๊าซไอเสียได้ทั้งหมดด้วยเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางเคมีที่มีความก้าวหน้าและมีต้นทุนสูง

การเลือกใช้ระบบควบคุมมลพิษอากาศโดยหลักแล้วขึ้นอยู่กับมาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษของแต่ละประเทศและขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมที่ต้องการ ในที่นี้ได้จัดกลุ่มระบบควบคุมมลพิษอากาศออกเป็นระดับพื้นฐาน (basic) ระดับกลาง (medium) และ ระดับสูง (advance)

การควบคุมระดับพื้นฐานมีวัตถุประสงค์หลักในการควบคุมความเข้มข้นของอนุภาคมลสารเป็นหลัก เป็นวิธีที่มีการปฏิบัติการและการบำรุงรักษาที่ง่ายและมีเงินลงทุนน้อยที่สุด ขณะเดียวกันมลพิษตัวหลักๆ จำนวนมากจะถูกควบคุมออกไปจากก๊าซไอเสียด้วย เนื่องจากสารเหล่านี้ดูดซับที่พื้นผิวของอนุภาคมลสารซึ่งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอนุภาคมลสารเช่นเครื่องดักแบบไฟฟ้าสถิตย์ เป็นต้น การควบคุมระดับพื้นฐานถือว่าเป็นระดับการควบคุมที่มีความจำเป็นที่สุดอย่างน้อยที่สุดต่อการปฏิบัติงานของระบบเตาเผาขยะมูลฝอย

การควบคุมระดับกลางและระดับสูงจะให้ประสิทธิภาพการควบคุมที่สูงขึ้นตามลำดับ โดยมีปัจจัยพิจารณาประกอบด้วยความซับซ้อนของระบบที่เพิ่มขึ้น ปริมาณและประเภทของมลสารที่ต้องการควบคุม เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน เป็นต้น ระบบควบคุมมลพิษอากาศระดับขั้นสูงมีการใช้งานกันมากในยุโรป สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น

(ก) การควบคุมระดับพื้นฐาน

ในการควบคุมระดับพื้นฐานจะมีวัตถุประสงค์เพียงแค่การควบคุมอนุภาคมลสารโดยมีค่าแนะนำความเข้มข้นที่ยอมให้ปลดปล่อยอยู่ที่ 30 mg/Nm3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหน้าที่ดังกล่าวแสดงไว้ข้างล่างแต่มีเพียงเครื่องดักแบบไฟฟ้าสถิตย์กับเครื่องกรองแบบถุงกรองเท่านั้นที่สามารถควบคุมอนุภาคมลสารได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

- เครื่องดักทางกล (mechanical collector ; cyclone, multi-cyclone)
- สครับเบอร์แบบเปียก (เช่น venturi scrubber)
- การกรองด้วยเส้นใยถัก (Fabric Filter เช่น Baghouse Filter)
- เครื่องดักด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator : ESP)

เครื่องดักทางกล (Mechanical Collectors เช่น Cyclone) สามารถดักฝุ่นที่ปนเปื้อนมากับก๊าซไอเสียจนมีความเข้มข้นได้ถึง 150 mg/Nm3 หรือต่ำกว่า ดังนั้นในทางปฏิบัติ อุปกรณ์นี้จะทำงานร่วมกับระบบควบคุมมลพิษระดับสูงหรือใช้ในการดักฝุ่นที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเทขยะลงในหลุมรับขยะ

สครับเบอร์แบบเปียก (Wet scrubber เช่น Venturi scrubber หรือ Wet Electrostatic Precipitator) สามารถออกแบบให้ทำหน้าที่ในการควบคุมความเข้มข้นของอนุภาคมลสารได้ถึง

100mg/Nm^3 และน้ำที่ใช้ในการชะจับจะสามารถควบคุมความเข้มข้นของ HCl ได้เกือบทั้งหมด และทำให้น้ำที่ผ่านการชะจับแล้วมีความกัดกร่อนสูง โดยอาจมี pH ประมาณ 0

การกรองด้วยเส้นใยถักจะให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดสูง โดยอาจควบคุมความเข้มข้นของอนุภาคมลสารได้ถึง 10 mg/Nm^3 อย่างไรก็ตาม การกรองด้วยเส้นใยถักไม่เหมาะที่จะใช้งานร่วมกับก๊าซไอเสียที่ไหลออกมาจากเครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงและอาจมีประกายไฟปนเปื้อนมาด้วย

เครื่องดักด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitators : ESPs) มีวัตถุประสงค์หลักในการควบคุมความเข้มข้นของเถ้าบิน (fly ash) ที่เกิดขึ้นกับโรงเผาขยะมูลฝอย อาจออกแบบให้ทำงานแบบชุดเดียว หรือสองหรือสามชุด ที่ทำงานโดยมีการควบคุมสนามไฟฟ้าที่เป็นอิสระต่อกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษที่ต้องการ หาก ESP ทำงานเพียงหนึ่งชุด อาจลดความเข้มข้นของอนุภาคมลสารได้ถึง 150 mg/Nm^3 ในขณะที่ ESP แบบสองชุดอาจทำให้สามารถควบคุมความเข้มข้นของอนุภาคมลสารได้ตามที่กำหนดไว้ (30 mg/Nm^3)

ESP แบบสองชุดที่ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพจะสามารถลดความเข้มข้นของโลหะหนัก (ยกเว้น Hg) ได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ของระบบควบคุมมลพิษอากาศระดับสูง ทั้งนี้ ESP แบบสองชุดไม่ได้มีราคาต้นทุนที่แตกต่างกว่าแบบชุดเดียวมากนัก แต่จะให้ประโยชน์ด้านการควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ดีกว่า

เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารไดออกซินให้มีระดับต่ำสุด ESP ควรปฏิบัติงานด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 200°C

(ข) การควบคุมระดับกลาง

การควบคุมมลพิษระดับกลางมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมก๊าซมลพิษที่มีความเป็นกรด (HCl และHF) และโลหะหนัก แต่โดยทั่วไปจะไม่ครอบคลุมถึง SO_2 ระบบที่ใช้มีสองชนิดคือ

- ระบบควบคุมแบบเปียกอย่างง่าย ได้แก่ ESP ทำงานร่วมกับสครับเบอร์แบบเปียกหนึ่งชุด
- ระบบทำความสะอาดก๊าซไอเสียแบบแห้งหรือกึ่งแห้ง (สครับเบอร์แบบแห้ง)

ในระบบควบคุมแบบเปียกอย่างง่าย อนุภาคมลสารและโลหะหนักเกือบทั้งหมด ยกเว้น Hg จะถูกกำจัดออกไปโดย ESP ในขณะที่ HCl และ HF และเกือบทั้งหมดของ Hg จะถูกกำจัดในสครับเบอร์แบบเปียกด้วยน้ำชะซึ่งผสมสารละลายด่างเช่น $CaCO_3$

ระบบควบคุมก๊าซไอเสียแบบแห้งและกึ่งแห้งทำงานด้วยหลักการที่คล้ายคลึงกัน ในทั้งสองระบบก๊าซกรดจะทำปฏิกิริยากับ hydrated lime ($Ca(OH)_2$) ในกระบวนการนี้ ก๊าซจะเปลี่ยนรูปไปเป็นกากของแข็งได้แก่ calcium chloride, calcium sulfite/sulfate ($CaSO_3$/$CaSO_4$), and

calcium fluoride(CaF_2) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะถูกกรองต่อไปยังเครื่องกรองแบบถุงกรองซึ่งติดตั้งอยู่ถัดไป สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างระบบแห้งและกึ่งแห้งคือในระบบแห้งนั้นปูนขาวจะถูกฉีดเข้าไปในรูปของแข็ง ในขณะที่ระบบกึ่งแห้ง ปูนขาวจะผสมน้ำก่อนแล้วค่อยฉีดเข้าไปผ่านหัวฉีด

(ค) การควบคุมระดับสูง

ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในระบบควบคุมขั้นสูงสามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยใช้ระบบดังต่อไปนี้

- ระบบแห้งและกึ่งแห้งโดยเพิ่มปริมาณการใช้เคมีภัณฑ์
- ระบบเปียกขั้นสูงทำงานร่วมกับ ESP เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบก๊าซ-ก๊าซ สครับเบอร์แบบสองชุดและเครื่องกรองแบบถุงกรอง

ยิ่งไปกว่านั้นต้องมีการเพิ่มระบบควบคุม NO_x ด้วย

ประสิทธิภาพการควบคุมของระบบแห้งและกึ่งแห้งต่อ HCl, HF และ SO2 จะขึ้นอยู่กับปริมาณเคมีภัณฑ์ที่ใช้ ยิ่งเพิ่มปริมาณปูนขาวในระบบจะทำให้สามารถปรับปรุงสมรรถนะของระบบจนสามารถควบคุมความเข้มข้นของมลพิษทั้งสามตัวเทียบเท่ากับระบบควบคุมขั้นสูงได้ อย่างไรก็ตาม ระบบควบคุมแบบแห้งต้องการปูนขาวในปริมาณที่มากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมขีดจำกัดของ Hgและไดออกซินได้โดยการเติมถ่านกัมมันต์เข้าไปในปูนขาว อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณการใช้เคมีภัณฑ์จะทำให้ปริมาณกากของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบเพิ่มขึ้นด้วย

ระบบควบคุมขั้นสูงแบบเปียกแตกต่างจากระบบควบคุมอย่างง่ายเนื่องจากมีการใช้สครับเบอร์แบบเปียกซึ่งใช้สารละลาย NaOH หรือ CaCO3 เพื่อควบคุมความเข้มข้นของ SO2 เนื่องจากในก๊าซไอเสียจะมีออกซิเจนส่วนเกินอยู่ด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาจะประกอบไปด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na2SO4) และยิบซั่ม (CaSO4.2H2O) ตามลำดับ

ก๊าซไอเสียที่ออกจากสครับเบอร์ SO2 จะถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะไหลเข้าสู่เครื่องกรองแบบถุงกรอง (Bag house filter) โดยก่อนที่ก๊าซจะไหลเข้าไปจะฉีดถ่านกัมมันต์หรือของผสมระหว่างปูนขาวและถ่านกัมมันต์เข้าไปในท่อและไหลเข้าไปในถุงกรองเพื่อกำจัด Hg และไดออกซินจนมีความเข้มข้นต่ำกว่าระดับการควบคุมมลพิษของระบบควบคุมขั้นสูง ยิ่งไปกว่านั้น ฝุ่น, HCl, HF, SO2 และโลหะหนักอื่นๆจะถูกควบคุมให้มีความเข้มข้นต่ำลงยิ่งขึ้น

ระบบควบคุมที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นของ NOx ได้ โดย NOx สามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุมปฐมภูมิเช่นการนำก๊าซไอเสียกลับมาเผาไหม้ซ้ำ

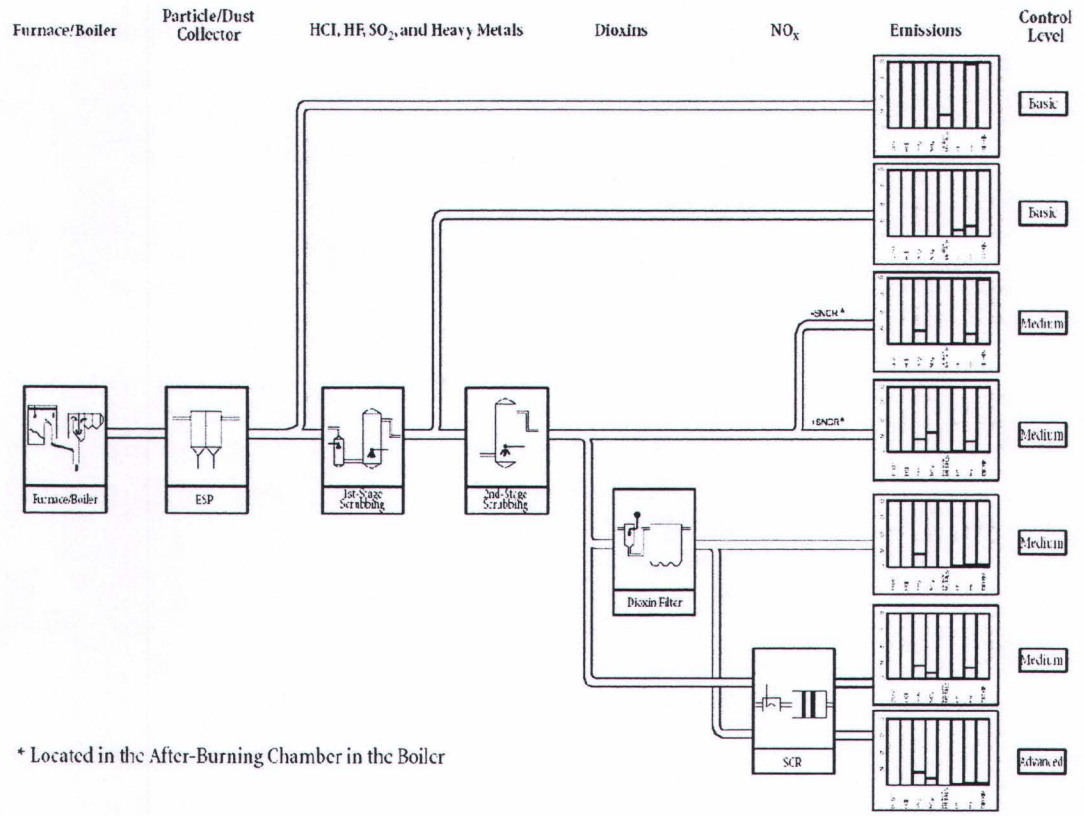
นอกเหนือจากการควบคุมปฐมภูมิแล้วยังสามารถควบคุมความเข้มข้นของ NOx ได้อีกสองวิธีคือSelective Noncatalytic Reduction (SNCR) และ Selective Catalytic Reduction (SCR) ปฏิกิริยาเคมีของวิธีการทั้งสองนั้นเหมือนกัน แต่วิธีแรกจะทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 900°C ในขณะที่วิธีหลังจะใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าคือประมาณ 250°C ทั้งนี้ SNCR ต้องการ NH3 เติมเข้าไปในปริมาณที่มากกว่าที่ stoichiometric ในขณะที่ SCR อาจทำงานด้วยปริมาณที่ stoichiometric ได้

SNCR จะติดตั้งไว้ต่อจากห้องเผาไหม้ที่สองของระบบเตาเผาโดยฉีด NH3 เข้าไป ส่วนเกินของNH3 จะไหลไปกับก๊าซไอเสียเข้าสู่ระบบควบคุมมลพิษอากาศซึ่งถ้าใช้ระบบควบคุมแบบเปียก ส่วนเกินของ NH3 จะถูกกำจัดออกมาโดย HCl scrubber ในรูปของแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH4Cl) และถ่ายออกมาโดยผสมกับน้ำเสีย

ระบบควบคุมมลพิษแบบแห้งและกึ่งแห้งจะมีความสามารถในการกำจัด NH3 ที่ต่ำกว่า ดังนั้นระบบ SCR จึงอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะกว่า

โดยทั่วไป SCR จะติดตั้งไว้ต่อจากสครับเบอร์แบบเปียกหรือเครื่องกรองไดออกซินในระบบควบคุมแบบเปียก และติดตั้งไว้ด้านหลังของเครื่องกรองแบบถุงกรองในระบบแบบแห้งและกึ่งแห้งตามลำดับ จึงจำเป็นต้องอุ่นก๊าซไอเสียให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือโดยเชื้อเพลิงเสริม สิ่งที่ตามมาก็คือระบบ SCR จะมีราคาที่สูงทั้งเงินลงทุนขั้นต้นและค่าใช้จ่ายปฏิบัติงาน

ระบบควบคุมมลพิษอากาศสำหรับเตาเผาขยะมูลฝอยทั้งระดับพื้นฐาน ระดับกลางและระดับสูงซึ่งมีความสามารถในการกำจัดมลพิษชนิดต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.13 ภาพรวมของระบบควบคุมมลพิษอากาศสำหรับเตาเผาขยะมูลฝอย [5]

2) มลพิษกากของแข็ง

กากของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาเผาขยะมูลฝอยจะแยกเป็นสองส่วนคือขี้เถ้าหนัก(bottom ash) ซึ่งพบที่บริเวณก้นเตาเผา เกิดจากจากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้และขี้เถ้าเบา (fly ash) ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยส่วนที่ระเหยขึ้นไปจากขยะมูลฝอยอย่างรวดเร็วและลอยออกไปจากห้องเผาไหมกับก๊าซไอเสียและถูกจับด้วยอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ เช่นไซโคลน เครื่องกรองด้วยเส้นใยถัก เครื่องดักด้วยไฟฟ้าสถิตย์เป็นต้น

ขี้เถ้าหนักส่วนใหญ่จะมีเฉพาะองค์ประกอบของขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ได้แก่เศษอิฐ หินปูน คอนกรีต และโลหะต่างๆ ดังนั้นจึงสามารถนำมาคัดแยกและนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ได้

ขี้เถ้าเบามักมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ด้วย ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดยการทำให้เป็นก้อนและผ่านการทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนักก่อนที่จะนำไปฝังกลบแบบขยะมูลฝอยอันตราย

เทคโนโลยีใหม่ในปัจจุบันได้มีการใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงเพื่อหลอมขี้เถ้าเบานี้ให้กลายเป็นผลึกแก้ว (slag หรือ vitrification) ซึ่งทำให้โลหะหนักหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกับผลึกแก้วและหมดความเป็นพิษ

3) มลพิษน้ำ

ที่มาของน้ำเสียจากการใช้เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอยมาจากน้ำเสียที่อยู่ที่ก้นหลุมเก็บขยะมูลฝอยส่วนหนึ่ง กับอีกส่วนหนึ่งที่มาจากการล้างภาชนะ (รถเก็บขนมูลฝอยและถังเก็บขยะ) น้ำเสียส่วนนี้จะนำมาบีบอัดเพื่อกรองกากของแข็งก่อนที่จะส่งเข้าไปเผาในเตาเผา น้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วจึงนำไปผ่านระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งอาจใช้วิธีทางเคมีหรือชีวภาพ

น้ำเสียอีกส่วนหนึ่งมาจากระบบควบคุมมลพิษอากาศและน้ำเสียที่ใช้ในการทำให้ขี้เถ้าเย็นตัวลงน้ำเสียนี้ส่วนหนึ่งจะไหลวนเพื่อกลับไปใช้ในกระบวนการของเตาเผา มีเพียงบางส่วนที่ถ่ายทิ้งเพื่อนำไปกำจัดซึ่งอาจไหลไปบำบัดรวมกับน้ำเสียจากก้นหลมเก็บขยะมูลฝอย

4) มลพิษกลิ่น

กลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นในโรงเผาขยะมูลฝอยเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของขยะมูลฝอยในหลุมเก็บขยะมูลฝอย รวมทั้งเกิดขึ้นขณะที่เปิดประตูถ่ายขยะเพื่อให้รถเก็บขนขยะทิ้งขยะลงในหลุม โดยทั่วไปจะออกแบบให้สภาวะด้านในของโรงเผามีความดันติดลบ เพื่อป้องกันกลิ่นต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่ให้รั่วออกไปภายนอก นอกจากนี้ยังติดตั้งพัดลมดูดอากาศบริเวณด้านบนของหลุมเก็บขยะเพื่อดูดกลิ่นต่างๆ ให้ไหลไปพร้อมกับอากาศและป้อนเข้าห้องเผาไหม้เพื่อใช้เป็นอากาศสำหรับการเผาไหม้ของเตาเผาขยะ

4.2.2 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย

เนื่องจาก RDF ถูกพิจารณาให้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้งาน RDF จึงเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นทั้งผลกระทบต่อมลพิษอากาศ มลพิษน้ำเสีย และมลพิษจากขี้เถ้า อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้งาน RDF จะต้องพิจารณาเป็นกรณีเฉพาะไป เพราะมีปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาหลากหลายประการ เช่น คุณภาพของ RDF องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของ RDFเทคโนโลยีที่ใช้ในการเผาไหม้และการควบคุมมลพิษ สัดส่วนของการใช้ RDF ในการเผาไหม้ (เผาไหม้โดยตรง หรือเผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น) เป็นต้น

ในส่วนของการแปรรูป RDF นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ว่าเป็นแบบ MBT หรือ Autoclavingอย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีทั้งสองแบบใช้หลักการของคัดแยกขยะมูลฝอยในปลายทาง

ซึ่งทำให้อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากกระบวนการเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นกับเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (ซึ่งต้องมีการคัดแยกของเสียอินทรีย์ออกมาจากของเสียที่ทิ้งรวมกันมา) การป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเทคโนโลยีจึงใช้หลักการในการพิจารณาแบบเดียวกันนอกจากนี้สิ่งที่เหลือทิ้งจากการคัดแยกมักนำไปกำจัดโดยการฝังกลบขยะมูลฝอย ดังนั้นการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากสิ่งเหลือทิ้งนี้จึงมีวิธีการป้องกันลักษณะเดียวกับการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล

4.2.3 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยี

จากตารางที่ 4.16 จะแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาพรวม และแยกเป็นมลพิษในแต่ละรูปแบบ ซึ่งจากผลการศึกษาของทั้งเทคโนโลยีเตาเผาขยะและเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย พบว่าทั้งสองเทคโนโลยีไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเป็นผลกระทบที่เกิดจากการเผาไหม้เหมือนกัน จึงต้องนำไปเปรียบเทียบกันในเงื่อนไขอื่นต่อไป

ตารางที่ 4.16 แสดงสรุปการเปรียบเทียบเงื่อนไขในการพิจารณาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [5]

ลำดับ	เงื่อนไขด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	เทคโนโลยีเตาเผา	เทคโนโลยีการผลิตมูลฝอยเชื้อเพลิง
1	ภาพรวมของผลกระทบจากเทคโนโลยี	ผลกระทบหลักได้แก่ มลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งได้แก่มลพิษอากาศและโลหะหนักที่อยู่ในขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวสามารถป้องกันและแก้ไขได้	ลดปริมาณของเสียโดยการคัดแยกมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่
2	มลพิษทางอากาศ	มลพิษที่ปล่อยจากเตาเผามีทั้งที่เป็นอนุภาค (ฝุ่น) และก๊าซ เช่น HCL,HF	อนุภาคจากการเผาไหม้ต่างๆ
3	มลพิษกากของแข็ง	กากของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้ คือ ขี้เถ้าหนัก และขี้เถ้าเบา โดยขี้เถ้าเบานี้มักมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ด้วย	มีขี้เถ้าหนักและขี้เถ้าเบาเหมือนกัน
4	มลพิษทางน้ำ	มีน้ำเสียจากหลุมเก็บมูลฝอย และน้ำล้างรถเก็บขยะ	น้ำเสียจากน้ำชะขยะ
5	มลพิษทางกลิ่น	กลิ่นเหม็นจากปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอยในหลุมเก็บขยะ รวมถึงเกิดขึ้นขณะเปิดประตูถ่ายขยะจากรถลงสู่หลุมเก็บขยะมูลฝอย	กลิ่นเหม็นจากมูลฝอย
6	มลพิษทางเสียง	-	-
7	ด้านทัศนียภาพ	-	-
8	ด้านสุขภาพอนามัย	-	-

4.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

จากการจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีแล้ว จะมีเพียงเทคโนโลยีเตาเผาขยะและเทคโนโลยีผลิตมูลฝอยเชื้อเพลิงที่มีความเป็นไปได้ในการลงทุน ดังนั้นเพื่อให้นำไปสู่การวิเคราะห์เศรษฐกิจที่เหมาะสมของโครงการ โดยการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์จึงจะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในด้านการลงทุนและผลตอบแทน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการวางแผนต่อไป

4.3.1 ค่าใช้จ่ายของโครงการ

4.3.1.1 เงินลงทุน

เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย และเทคโนโลยีการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล จะใช้เงินลงทุน โดยเทียบจากราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์การก่อสร้างที่ปี 2553 ซึ่งจะประกอบด้วย

โครงการโรงเตาเผาขยะ 700 ตัน / วัน

1) ค่าก่อสร้างอาคาร โรงงานต่างๆ	380	ล้านบาท
2) ค่าก่อสร้างงานสาธารณูปโภค	20	ล้านบาท
3) ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ แบ่งเป็น		
3.1) เตาเผาขยะและหม้อต้มไอน้ำ	325	ล้านบาท
3.2) ชุดกังหันไอน้ำและเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า	390	ล้านบาท
3.3) อุปกรณ์ไฟฟ้า	260	ล้านบาท
3.4) อุปกรณ์สำหรับติดตั้ง	300	ล้านบาท
3.5) อุปกรณ์ซ่อมบำรุง	25	ล้านบาท
4) ค่าพัฒนาโครงการ	150	ล้านบาท

รวมทั้งสิ้น 1,850 ล้านบาท

โครงการการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล [BMT]

1) ค่าก่อสร้างอาคาร โรงงานต่างๆ	72	ล้านบาท
2) ค่าก่อสร้างงานสาธารณูปโภค	7	ล้านบาท
3) ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ แบ่งเป็น		

3.1) เครื่องจักรในการรื้อหลุมขยะเก่า	50	ล้านบาท
3.2) เครื่องจักรในโรงรับขยะ	15	ล้านบาท
3.3) เครื่องจักรในการคัดแยกวัสดุ	320	ล้านบาท
3.4) เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้า	150	ล้านบาท
3.5) เครื่องผลิตเม็ดพลาสติก	75	ล้านบาท
3.6) เครื่องจักรในการจัดการขยะใหม่	180	ล้านบาท
3.7) เครื่องจักรในการขนย้ายวัสดุในโรงงาน	5	ล้านบาท
3.8) อุปกรณ์ซ่อมบำรุง	10	ล้านบาท
4) ค่าพัฒนาโครงการ	10	ล้านบาท

รวมทั้งสิ้น 894 ล้านบาท

4.3.1.2 ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา

ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาประกอบด้วย

โครงการโรงเตาเผาขยะ 700 ตัน / วัน

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสำหรับเทคโนโลยีเตาเผาขยะ [9]

ค่าน้ำมันสำหรับเดินเครื่องจักร	20,000 l/time	3 times	30B/l	1,800,000 บาท
ค่าวัสดุสิ้นเปลืองสำหรับบำบัดของเสีย				
-Calcium Hydroxide	9.6 ton/d	330 d	6000 B/to	19,008,000 บาท
-Active Carbon	0.3 ton/d	330 d	60,000 B/ton	5,940,000 บาท
ค่าแรงงาน	85 man	12 month	10,000 B/M	12,000,000 บาท
ค่าบำรุงรักษา (2% ของเงินลงทุน)				38,000,000 บาท
รวม				76,748,000 บาท

หมายเหตุ: โครงการสามารถใช้ไฟฟ้าที่ผลิตภายในโรงงานได้

โครงการการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล (BMT)

ตารางที่ 4.18 ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาสำหรับเทคโนโลยีผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล (BMT) [9]

ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักร	1,350 kW	7800 hr	3 B/kwh	31,590,000 บาท
ค่าน้ำมันสำหรับเดินเครื่องจักร	2,000 l/d	330 d	30B/l	19,800,000 บาท
ค่าแรงงาน	75 man	12 month	10,000 B/M	9,000,000 บาท
ค่าบำรุงรักษา (2% ของเงินลงทุน)				17,880,000 บาท
รวม				78,270,000 บาท

ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์จะกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นปีละ 3%

4.3.2 รายได้ของโครงการ

โครงการโรงเตาเผาขยะ 600ตัน / วัน

รายได้ของโครงการประกอบด้วย

1) ค่าจำหน่ายกระแสไฟฟ้าจากโครงการ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการเผาขยะและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 12 MW และใช้ไฟฟ้าภายในโรงงาน 20% หรือเหลือสำหรับจำหน่าย 9.6 MW โดยรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าหน่วยละ 2.7 บาท และได้รับ adder 3.5 บาท เป็นระยะเวลา 7 ปี

2) ค่ากำจัดขยะที่จ่ายให้โดยเทศบาล อย่างไรก็ตาม จะมีการคืนผลการดำเนินงานให้กับเทศบาลในรูปของการยกเว้นการเก็บค่ากำจัดขยะในปริมาณ 130 ตันแรก ดังนั้นค่ากำจัดขยะที่เก็บได้จะมีปริมาณวันละ 470 ตัน ในราคาตันละ 300 บาท โดยมีอัตราเพิ่มร้อยละ 10 ทุก 3 ปี

โครงการการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล

รายได้ของโครงการประกอบด้วย

1) พลาสติกรีไซเคิล โดยออกมาในรูปของเม็ดพลาสติกวันละ 40 ตัน กำหนดราคารับซื้อเม็ดพลาสติกกิโลกรัมละ 17 บาท คงที่ตลอดอายุโครงการ โดยมีการรับรู้รายได้ตั้งแต่ปีที่สองของการเริ่มโครงการ

2) ค่าจำหน่ายกระแสไฟฟ้าจากโครงการ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบขยะมูลฝอยขนาด 1 MW โดยรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าหน่วยละ 2.7 บาท และได้รับ adder 2.5 บาท เป็นระยะเวลา 7 ปี

3) ค่ากำจัดขยะที่จ่ายให้โดยเทศบาล อย่างไรก็ตาม จะมีการคืนผลการดำเนินงานให้กับเทศบาลในรูปของการยกเว้นการเก็บค่ากำจัดขยะในปริมาณ 130 ตันแรก ดังนั้นค่ากำจัดขยะที่เก็บได้จะมีปริมาณวันละ 270 ตัน ในราคาตันละ 330 บาท โดยมีอัตราเพิ่มร้อยละ 10 ทุก 3 ปี

4.3.3 โครงสร้างในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ได้ใช้สมมติฐานดังต่อไปนี้

- การคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยในอนาคต ใช้ปริมาณขยะปี พ.ศ. 2552 เป็นปีฐาน และใช้อัตราเพิ่มร้อยละ 7 ต่อปี
- ค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะจะคิดเฉพาะปริมาณขยะมูลฝอยใหม่ส่วนที่เกินจาก 130 ตัน โดยคิดค่าธรรมเนียมในอัตราตันละ 300 บาท และมีอัตราเพิ่มร้อยละ 10 ทุก 3 ปี
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 8 ต่อปี ตลอดอายุโครงการ
- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่อัตราคิดลดร้อยละ 8 คิดจาก cost of debt = 6% และ cost of equity = 9% ดังนั้น จะได้ i = 1/3 x 6% + 2/3 x 9% = 2+ 6 = 8%

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการแสดงในตารางที่ 4.20 ซึ่งเป็นตารางประมาณการรายรับของโครงการ และตารางที่ 4.21 แสดงการวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการ

ตารางที่ 4.19 แสดงผลตอบแทนการลงทุนในรูปของอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) ของการลงทุนในแต่ละเทคโนโลยี

เทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอย	ผลตอบแทนการลงทุน		
	IRR (%)	NPV (ล้านบาท)	Payback Period (ปี)
- เทคโนโลยีระบบเตาเผาขยะแบบตะกรับ (Stroker)	13.4	419	6
- เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการชีวภาพ-กล (BMT)	12.6	193	7

โครงการโรงเตาเผาขยะ 700 ตัน / วัน

จากตารางที่ 4.23 ซึ่งแสดงประมาณการรายรับของโครงการจะพบว่าโครงการจะเริ่มดำเนินการได้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 (ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างประมาณ 2 ปี) โดยในปีที่ 3 จะนำขยะมูลฝอยใหม่จากชุมชนมาเผา โดยรายรับของโครงการจะรับรู้รายได้ในปีที่ 3 ปีละ 500 ล้านบาทและมีรายได้รวมในปีที่ 12 เท่ากับ 4,285 ล้านบาท

ทั้งนี้เมื่อพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่อัตราคิดลดร้อยละ 8 มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะอยู่ที่ 419 ล้านบาท ในขณะที่อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR Project) ตลอดอายุโครงการ 12 ปี อยู่ที่ร้อยละ 13.4 ซึ่งถือว่าอัตราผลตอบแทนดังกล่าว เป็นผลตอบแทนจากการลงทุนที่อยู่ในระดับสูง

โครงการการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล

จากตารางที่ 4.23 ซึ่งแสดงประมาณการรายรับของโครงการจะพบว่าโครงการจะเริ่มดำเนินการได้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 (ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างประมาณ 2 ปี) โดยในปีที่ 6 จะนำขยะเก่าจากหลุมฝังกลบเดิมขึ้นมาเพื่อทำการรีไซเคิลและปรับปรุงสภาพพื้นที่สำหรับการรองรับการฝังกลบขยะใหม่ และมีรายได้ 264 ล้านบาท ชุดที่จะก่อสร้างใหม่) จะรองรับได้ โดยรายรับของโครงการจะรับรู้รายได้ในปีที่ 3 ปีละ 229 ล้านบาทและมีรายได้รวมในปีที่ 12 เท่ากับ 2,619 ล้านบาท

ทั้งนี้เมื่อพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่อัตราคิดลดร้อยละ 8 มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะอยู่ที่ 193 ล้านบาท ในขณะที่อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR Project) ตลอดอายุโครงการ 12 ปี อยู่ที่ร้อยละ 12.6 ซึ่งถือว่าอัตราผลตอบแทนดังกล่าว เป็นผลตอบแทนจากการลงทุนที่อยู่ในระดับปานกลาง

การวิเคราะห์ส่วนลงทุนเพิ่ม (Incremental Analysis)

สำหรับการเปรียบเทียบเทคโนโลยีทั้งสองเพื่อการลงทุนโดยที่จำนวนเงินลงทุนไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น สรุปได้ดังตาราง 4.20

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ส่วนลงทุนเพิ่ม

(รายรับ-รายจ่าย) สุทธิ	Incremental IRR	Incremental NPV
เทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบตะกรับ - เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการชีวภาพ-กล (BMT)	14.31%	226.21

ผลการวิเคราะห์ส่วนลงทุนเพิ่มพบว่า การลงทุนเพิ่มในเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบตะกรับให้ผลตอบแทนเป็นที่น่าพอใจสูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด ดังนั้นควรเลือกลงทุนในเทคโนโลยีเตาเผาขยะแบบตะกรับ

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

เนื่องจากข้อมูลในการวิเคราะห์การลงทุนที่กล่าวมาเบื้องต้นนี้อ้างอิงการตัดสินใจลงทุน ณ ปี 2554 ดังนั้นหากมีการตัดสินใจล่าช้าออกไปในปีต่อๆ ไป จะมีผลกระทบเกิดขึ้นอย่างไร จึงทำการศึกษาองค์ประกอบหรือค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อหาผลกระทบต่ออัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อย่างไร ทั้งนี้เพื่อให้มีความมั่นใจในการตัดสินใจมากขึ้น

ผลจากการเปลี่ยนแปลงเงินลงทุน

ผลกระทบจากเงินลงทุน มีบทบาทสำคัญในการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐกิจของโครงการ ดังตารางที่ 4.21 แสดงผลกระทบของเงินลงทุนต่ออัตราผลตอบแทนภายใน IRR โดยการเพิ่มเงินลงทุน 1% ทำให้ IRR ลดลง 1.28%

ตารางที่ 4.21 แสดงผลกระทบของเงินลงทุนต่ออัตราผลตอบแทนภายใน

เงินลงทุน (%)	IRR (%)
0	13.21
5	10.59
10	9.80
15	8.73
20	7.72

ผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการก่อสร้าง

ผลของการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 4.22 จากผลที่ได้สรุปได้ว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการก่อสร้างเพิ่มขึ้น 1% ทำให้ IRR ลดลง 0.22%

ตารางที่ 4.21 แสดงผลกระทบของอัตราการเพิ่มขึ้นค่าใช้จ่ายการดำเนินการและการก่อสร้างต่ออัตราผลตอบแทนภายใน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการก่อสร้าง (%)	IRR (%)
4	13.21
5	12.98
6	12.73
7	12.47
8	12.19

สรุปได้ว่าในส่วนของเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่ออัตราผลตอบแทนการลงทุนมากที่สุด ดังนั้นควรจะพิจารณาตัดสินใจในการลงทุน เพราะอัตราราคาเครื่องจักรนั้นย่อมมีราคาแพงมากขึ้นในทุกๆ ปี

ตารางที่ 4.23 ประมาณการรายรับของโครงการ [9]

	ระยะเวลา (ปี)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
	พ.ศ.	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	
1	**ปริมาณมูลฝอยในชุมชน**	189,000	202,230	216,386	231,533	247,740	265,082	283,638	303,493	324,737	347,469	371,792	397,817	425,664	455,461	487,343	4,749,385
2	**ปริมาณมูลฝอยที่โครงการรับได้ (ตันต่อปี)**	-	-	219,000	219,000	219,000	365,000	365,000	365,000	365,000	365,000	365,000	365,000	219,000	219,000	219,000	3,869,000
	<u>โครงการลงทุนที่ 1 โครงการโรงเตาเผา</u>																
	2.1 ปริมาณมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเดิม			2,614	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,614
	2.2 ปริมาณมูลฝอยจากขยะชุมชน (ขยะใหม่)			216,386	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	219,000	2,844,386
	<u>โครงการลงทุนที่ 2 BMT</u>																
	2.3 ปริมาณมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเดิม						146,000	146,000	146,000	146,000	146,000	146,000	146,000	-	-	-	1,022,000
	2.4 ปริมาณมูลฝอยจากขยะชุมชน (ขยะใหม่)													146,000	146,000	146,000	
3	**ขยะส่วนเกินที่ต้องส่งไปกำจัดระบบอื่น**	189,000	202,230	-	12,533	28,740	-	-	-	-	-	6,792	32,817	60,664	90,461	122,343	745,580
4	**ค่าธรรมเนียมการกำจัดมูลฝอย (ตันต่อปี)**			300	300	300	330	330	330	363	363	363	399	399	399	439	
	<u>โครงการลงทุนที่ 1 โครงการโรงเตาเผา</u>																
	4.1 ปริมาณขยะที่ยกเว้นค่าธรรมเนียม (ตันต่อปี)			47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	616,850
	4.2 ปริมาณขยะที่คิดค่าธรรมเนียม			168,936	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	171,550	2,227,536
	4.3 จำนวนเงินค่ากำจัดขยะ (ล้านบาท)			51	51	51	57	57	57	62	62	62	68	68	68	75	791
	<u>โครงการลงทุนที่ 2 BMT</u>																
	4.4 ปริมาณขยะที่ยกเว้นค่าธรรมเนียม (ตันต่อปี)						47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	47,450	474,500
	4.5 ปริมาณขยะที่คิดค่าธรรมเนียม						98,550	98,550	98,550	98,550	98,550	98,550	98,550	98,550	98,550	98,550	985,500

ตารางที่ 4.23 ประมาณการรายรับของโครงการ (ต่อ)

	ระยะเวลา (ปี)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
	พ.ศ.	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	
	4.6 จำนวนเงินค่ากำจัดขยะ (ล้านบาท)			-	-	-	33	33	33	36	36	36	39	39	39	43	366
5	**ปริมาณไฟฟ้าที่ขายได้**																-
	โครงการลงทุนที่ 1 โครงการโรงเตาเผา																
	5.1 ปริมาณหน่วยไฟฟ้า (MWhr)			74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	74,880	973,440
	5.2 ค่าไฟฟ้าที่ขายได้ (2.7 บาท/หน่วย) (ล้านบาท)			187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	2,434
	5.3 ค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (3.5 บาท/หน่วย) (ล้านบาท)			262	262	262	262	262	262	262							1,835
	โครงการลงทุนที่ 2 BMT																
	5.4 ปริมาณหน่วยไฟฟ้า (MWhr)						7,920	7,920	7,920	7,920	7,920	7,920	7,920	7,920	7,920	7,920	79,200
	5.5 ค่าไฟฟ้าที่ขายได้ (2.7 บาท/หน่วย) (ล้านบาท)						21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	214
	5.6 ค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (3.5 บาท/หน่วย) (ล้านบาท)						20	20	20	20	20	20	20				139
6	Recycling																-
	โครงการลงทุนที่ 2 BMT																
	6.1 ค่าพลาสติกรีไซเคิล (40 ตันต่อวัน) (ล้านบาท)						190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	1,900
7	**รวมรายรับ (ล้านบาท)**																-
	โครงการลงทุนที่ 1 โครงการโรงเตาเผา	-	-	500	501	501	506	506	506	512	249	249	256	256	256	263	5,059
	โครงการลงทุนที่ 2 BMT	-	-	-	-	-	264	264	264	267	267	267	271	251	251	255	2,619

4.4 ด้านการเงิน

เมื่อนำมาสู่การวิเคราะห์ด้านการเงิน โดยเปรียบเทียบกันทั้งสองเทคโนโลยี เตาเผาขยะ และเทคโนโลยีการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากขยะ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.21 และ 4.22

เทคโนโลยีเตาเผาขยะ

จากตารางที่ 4.24 ซึ่งแสดงประมาณการวิเคราะห์ด้านการเงินของเทคโนโลยี เตาเผาขยะ พบว่าใช้เงินลงทุน 1,850 ล้านบาทในปีที่หนึ่งและสอง และมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาปีละ 77 ล้านบาทในปีที่ 3 และเพิ่มขึ้นปีละ 3% โดยพบว่า หากมีการจ่ายเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยเงินกู้คืนตั้งแต่ปีที่ 3 ในปริมาณปีละ 150 ล้านบาท จะสามารถจ่ายคืนเงินต้นได้หมดในปีที่ 8 (ภายใน 6 ปี) และเมื่อเสร็จสิ้นโครงการจะมีรายรับคงเหลือ 2,947 ล้านบาท

เทคโนโลยีการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากขยะ

จากตารางที่ 4.25 แสดงประมาณการวิเคราะห์ด้านการเงินของเทคโนโลยี พบว่าใช้เงินลงทุน 900 ล้านบาทในปีที่สี่และห้า และมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาปีละ 79 ล้านบาทในปีที่ 6 และเพิ่มขึ้นปีละ 3% โดยพบว่า หากมีการจ่ายเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยเงินกู้คืนตั้งแต่ปีที่ 3 ในปริมาณปีละ 155 ล้านบาท จะสามารถจ่ายคืนเงินต้นได้หมดในปีที่ 12 (ภายใน 7 ปี) และเมื่อเสร็จสิ้นโครงการจะมีรายรับคงเหลือ 666 ล้านบาท

ซึ่งจะเห็นว่าเทคโนโลยีเตาเผาขยะจะใช้เงินลงทุนที่มากกว่าและค่อนข้างสูง และถึงแม้ว่าจากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เทคโนโลยีเตาเผาขยะจะมีความคุ้มทุนในการลงทุนมากที่สุด ก็ไม่สามารถเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมได้เสมอไป เนื่องจากปัจจัยหลายๆอย่าง ที่ผู้บริหารจะต้องพิจารณาต่อไป โดยที่จำนวนเงินลงทุนในเทคโนโลยีระบบเตาเผาขยะแบบตะกรับที่ค่อนข้างสูงกว่าเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ-กล ดังนั้นหากไม่ได้ใช้หลักการผลตอบแทนการลงทุนสูงสุดในการพิจารณา แต่ว่าพิจารณาที่จำนวนเงินลงทุนเป็นหลัก ก็ควรจะลงทุนในเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ-กล จึงจะเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ด้านการเงินของเทคโนโลยีเตาเผาขยะ [9]

โครงการโรงเตาเผาขยะ 700 ตัน/วัน

: ล้านบาท

	ระยะเวลา (ปี)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	รวม
	พ.ศ.	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	
1	รายรับ			500	501	501	506	506	506	512	249	249	256	4285
2	รายจ่าย	1000	850	77	79	82	84	87	89	92	95	98	100	2773
	2.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา			77	79	82	84	87	89	92	95	98	100	-
	2.2 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	1000	850											-
3	รายรับ - รายจ่าย	(1,000)	(850)	423	421	419	422	419	417	420	155	152	155	-
4	เงินต้นลงทุน	1000	850											-
5	เงินต้นคงเหลือต่อปี	1000	850	700	606	504	395	276	149	0				-
6	ดอกเบี้ยจ่ายต่อปี (ร้อยละ 8)	80	68	56	48	40	32	22	12					-
7	เงินต้นคงเหลือรวม	1,080	918	756	654	545	426	299	160					-
8	จ่ายคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ย			150	150	150	150	150	160					-
9	รายได้คงเหลือ			273	271	269	272	269	257	420	155	152	155	2493

ตารางที่ 4.25 การวิเคราะห์ด้านการเงินของเทคโนโลยีผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล (BMT) [9]

โครงการการผลิตขยะเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางชีวภาพ-กล (BMT)

: ล้านบาท

	ระยะเวลา (ปี)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	รวม
	พ.ศ.	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	
1	รายรับ			264	264	264	267	267	267	271	251	251	255	2619
2	รายจ่าย	500	400	79	81	84	86	89	92	94	97	100	103	1806
	2.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา			79	81	84	86	89	92	94	97	100	103	906
	2.2 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	500	400											900
3	รายรับ - รายจ่าย	(500)	(400)	185	182	180	181	178	175	176	154	151	152	813
4	เงินต้นลงทุน	500	400	-	-									900
5	เงินต้นคงเหลือต่อปี	500	940	785	693	59	486	370	244	109	0	0	-	4720
6	ดอกเบี้ยจ่ายต่อปี (ร้อยละ 8)	40	75	63	55	47	39	30	20	9	0	0	-	378
7	เงินต้นคงเหลือรวม	540	1015	848	748	641	525	399	262	117	0	0		5097
8	จ่ายคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ย			155	155	155	155	155	155	117				1047
9	รายได้คงเหลือ			30	27	25	26	23	20	59	154	151	152	666