

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ และคณะ ได้ศึกษาถึงการบำบัดขยะชุมชนของเทศบาลนครเมืองพิษณุโลกด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ(MBT) โดยดำเนินการที่บ่อฝังกลบขยะของเทศบาล ตั้งแต่ พ.ศ. 2544 ซึ่งขยะหลังจากที่ผ่านวิธีการบำบัดดังกล่าว จะถูกนำไปฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล ซึ่งทำให้สูญเสียประโยชน์ของขยะ เช่น ความสามารถเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน (Refuse Derived Fuel, RDF) และปุ๋ยหมัก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบ และคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีรวมทั้งค่าความร้อนของขยะภายหลังการบำบัดด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ (MBT) ผลการทดลองพบว่าขยะที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร สามารถพัฒนาเป็นปุ๋ยหมักได้ แต่ปริมาณโลหะหนักได้แก่ สารหนู มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน ควรลดปริมาณโลหะหนักก่อนนำไปใช้งาน ส่วนขยะที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 มิลลิเมตร มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพลาสติก ดังนั้นจึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน (RDF) [2]

ณัฐพร ดำรงโรจน์วัฒนา ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อัตราส่วนต่างๆ โดยอัตราส่วนผสมของกากตะกอนต่อเศษวัสดุ 1:1 ,1:2 และ1:3 โดยปริมาณสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ โดยเวลาในการอัดแท่ง และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดแท่งจะแปรผันตามปริมาณของเศษวัสดุ คือ ที่อัตราส่วนผสม 1:3 จะใช้เวลา และพลังงานไฟฟ้าในการอัดแท่งมากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็ให้พลังงานความร้อนสูงสุด ส่วนถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจะให้พลังงานความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนผสมกับใบกระถินณรงค์อัตราส่วนผสม 1:3 ให้ค่าความร้อนดีที่สุดในจึงเลือกมาใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และพบว่าที่กำลังการผลิต 604,800 แท่ง/ปี ราคาขาย 2.00 บาท/แท่ง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7 จะให้ค่ากระแสเงินสดสุทธิรวมเป็นบวก 1,781,070 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นบวก 791,376 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนเท่ากับ 1.179 อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 41.86 และคืนทุนในระยะเวลา 2 ปี 3 เดือน12 ดังนั้นโครงการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนผสมกับใบกระถินณรงค์ที่อัตราส่วนผสม 1:3 โดยปริมาตร จึงมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ [3]

รัชนิ โพรธีรัชต์ ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโรงงานกำจัดขยะชุมชนด้วยการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยมีการเติมเศษยางเพื่อเพิ่มพลังงานความร้อน

ขนาดกำลังการผลิต 150 ตัน RDF ต่อวัน ผลิต RDF ที่มีค่าความร้อน 4,000 kcal/kg โดยพื้นที่ศึกษาได้แก่ กรุงเทพมหานคร จากการศึกษาพบว่า โรงงานที่ได้รับความสนใจในการลงทุนจากผู้ลงทุนขนาดใหญ่ คือ โรงงานผลิต RDF-4 ซึ่งประกอบด้วยสถานี T-HS-MS-S-M-T สามารถกำจัดขยะชุมชนได้สูงสุด 45 ตันต่อวัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 109.62 ล้านบาท IRR เท่ากับ ร้อยละ 24 ด้วยระยะคืนทุน 4 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด 109.25 ล้านบาท ใช้เศษยางเท่ากับ 35 ตันต่อวัน ส่วนโรงงานที่ดึงดูดการลงทุนจากผู้ลงทุนขนาดเล็ก คือ โรงงานผลิต RDF-3 ซึ่งประกอบด้วยสถานี S-T โดยสามารถกำจัดขยะชุมชนได้ 196 ตันต่อวัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 43.73 ล้านบาท IRR เท่ากับร้อยละ 28 ด้วยระยะคืนทุนเท่ากับ 4 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด 35.8 ล้านบาท ใช้เศษยางเท่ากับ 62 ตันต่อวัน การศึกษาความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของโครงการ พบว่ามูลค่าความเสี่ยง และความไม่แน่นอนของโครงการพบมูลค่าปัจจุบันสุทธิในทางบวกทุกโครงการ ปัจจุบันสุทธิอยู่ในทางบวก 24 จาก 27 โอกาส และตัวแปรที่มีผลกระทบต่อโครงการซึ่งต้องมีการควบคุมให้อยู่ในระดับที่ให้ผลตอบแทนต่ำสุด คือ ราคารับซื้อเศษยาง [4]

ประธาน สถิตเรืองศักดิ์ ได้ศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้ผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับผงถ่านไยกะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีสัดส่วนการผสมดังนี้คือ 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ขึ้นกับเงื่อนไขการทดลอง ตัวประธานที่ใช้มี 2 ชนิด คือ โมลาส และ ฟางข้าวหมักกับสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะวัตถุดิบให้มีลักษณะเป็นแท่งเชื้อเพลิงซึ่งมีสัดส่วนผสมต่อน้ำหนักวัตถุดิบดังนี้คือ 10:100, 15:100, 20:100 และ 25:100 ขึ้นกับเงื่อนไขการทดลอง การวิจัยเริ่มจากออกแบบสูตรสำหรับอัดแท่งเชื้อเพลิงใหม่ เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเดิม จากนั้นเป็นการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดไว้หลังจากนั้น นำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ไปทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพต่างๆ ดังนี้คือการต้านทานแรงกด การต้านทานแรงกระแทก ความหนาแน่น ค่าความร้อน และพลังงานที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยมีค่าอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงระหว่าง 0.75-0.9 kg/min พลังงานที่ใช้ในอัดแท่งเชื้อเพลิงมีค่า 0.14-0.28 MJ/kg ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงมีค่า 1059 – 1324 kg/m³ ซึ่งมีค่าการต้านทานแรงกด ของแท่งเชื้อเพลิงระหว่าง 2.49-2.87 MPa และค่าความร้อนมีค่า 19.04-20.33 MJ/kg นอกจากนี้ความเร็วรอบสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเป็น 200 และ 228 รอบต่อนาที ส่งผลให้อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มเป็น 0.95 และ 1.13 kg/min ตามลำดับ สำหรับสัดส่วนตัวประธานในกรณีที่ใช้ฟางข้าวหมักกับสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวประธานซึ่งใช้ในสัดส่วนของผงถ่านกะลาต่อผงถ่านไยกะลาที่ 50:50 และเปลี่ยนสัดส่วนตัวประธานจาก 15:100 ไปเป็น 25:100 ที่

ความเร็วรอบของสกรูอัดแห้งเชื้อเพลิงที่ 200 รอบต่อนาที จะมีแนวโน้มของผลการทดลองคล้ายกับกรณีการใช้โมลาส โดยจะมีความแตกต่างกันที่ค่าความร้อนซึ่งจะแปรผันตามการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าวหมักฯ ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบ และการต้านทานแรงกดจะแปรผกผันกับการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าวหมักฯ ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบ โดยจะพบว่าอัตราการผลิตแห้งเชื้อเพลิงระหว่าง 1.25-1.52 kg/min พลังงานที่ใช้ในการอัดแห้งเชื้อเพลิงมีค่า 0.09-0.14 MJ/kg ความหนาแน่นของแห้งเชื้อเพลิงมีค่า 1174-1388 kg/m³ ซึ่งมีค่าการต้านแรงกดของระหว่าง 0.19-0.49 MPa และค่าความร้อนมีค่า 23.06-24.5MJ/kg [5]

นิธิพงศ์ อนุรักษ์พงศธร ได้ศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแห้ง โดยการนำกากตะกอนมาทำการผสมร่วมกับเศษวัสดุทางการเกษตร เพื่อเพิ่มค่าความร้อน คือขานอ้อย และเปลือกเมล็ดทานตะวัน ในอัตราส่วนโดยปริมาตรที่สามารถอัดแห้งได้ คือกากตะกอน : ขานอ้อย อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 โดยปริมาตร และกากตะกอน:เปลือกเมล็ดทานตะวัน อัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 3:1 โดยปริมาตรตามลำดับ อีกทั้งได้แบ่งประเภทของตะกอนที่จะนำมาทำการอัดแห้ง เป็นตะกอนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ และปรับปรุงคุณภาพโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ และการหมักแบบใช้อากาศ รวมทั้งนำแห้งเชื้อเพลิงที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพมาเผาเป็นถ่าน และทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM 6 ด้าน คือ ปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนเสถียร กำมะถันรวม และค่าความร้อน รวมทั้งประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน และศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิต 12 และการลงทุนโดยอาศัยเครื่องชี้คุณค่าทางเศรษฐกิจของโครงการ ซึ่งได้แก่งบประมาณเงินสดสุทธิ ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในผลการวิจัยพบว่า ตะกอนที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ และการหมักแบบใช้อากาศมีค่าความร้อนลดลงจากตะกอนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ โดยมีค่าความร้อน 1,589 1,781 และ 1,231 kcal/kg ตามลำดับ เมื่อนำกากตะกอนแต่ละประเภทผสมกับขานอ้อยหรือเปลือกเมล็ดทานตะวัน สามารถทำเป็นแห้งได้ โดยอัตราส่วนที่มีขานอ้อยหรือเปลือกเมล็ดทานตะวันเพิ่มขึ้นจะอัดแห้งได้ยาก 12 จากนั้นหาอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับขานอ้อยที่เผาเป็นถ่านอัตราส่วนที่ 1:3 มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด โดยมีค่าความร้อนอยู่ที่ 1,971 kcal/kg แต่มีประสิทธิภาพการใช้งานของค่าความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 59.67 เมื่อนำมาศึกษาด้านการลงทุนพบว่าที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7 ที่ราคาขาย 2 บาท/แห้ง (8 บาท/กิโลกรัม) จะใช้เวลาในการคืนทุน 2 ปี อย่างไรก็ตาม 12 ตามค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งจากน้ำเสียชุมชนมีค่าความร้อนต่ำ หากต้องการใช้ประโยชน์เพื่อไปเป็น

เชื้อเพลิงควรมีสมาศะวะสต์ที่มีค่าความร้อนสูง 12 หรือหาทางเพิ่มปริมาณศะวะสต์ในอัตราส่วนที่มากขึ้นให้ได้ซึ่งข้อดีของกากตะกอนช่วยให้ศะวะสต์ประสานกันเป็นแท่งได้ [6]

จินดา จำรัสเลิศลักษณ์ และคณะได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแท่งจากชีวมวลส่วนมากมีความหนาแน่นต่ำ แต่มีความชื้นสูงทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการเผาไหม้ในทันที การทำให้ชีวมวลมีความหนาแน่นสูงขึ้นก่อนนำมาใช้งาน จึงเป็นกระบวนการที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้เป็นการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลผสม 2 คู่ คือ แกลบ-ผักตบชวา และ ชานอ้อย-ฟางข้าว โดยนำชีวมวลทั้ง 4 ชนิดไปตากแดด แล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นชีวมวลแต่ละคู่ไปผสมกันที่อัตราส่วน 20:80, 40:60, 60:40 และ 80:20 (โดยมวล) โดยจะใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปเข้ากระบวนการอัดแท่ง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมรรถนะในการเผาไหม้ จากผลการทดลอง พบว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้อยู่ในช่วง 185-223 kg/m³ จากผลการทดสอบการเผาไหม้ พบว่าชีวมวลผสมระหว่าง แกลบ และ ผักตบชวา ที่อัตราส่วนผสม 60:40 ให้อุณหภูมิก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้สูงที่สุด สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาอยู่ในช่วง 1-15 ppm. [7]

เชษฐพจนท์ ดันติพุลวินัย และคณะได้ศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากชีวมวลโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งจะใช้ผงถ่านกะลาผสมกับผงถ่านไยกะลาเป็นวัตถุดิบ และใช้โมลาสเป็นตัวประสาน โดยจะทำการออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตแท่งเชื้อเพลิงเป็นแบบเครื่องอัดสุญญากาศเดียว ในการทดลองจะศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนการผสมโมลาสต่อหน้าหน้าวัตถุดิบที่ 10:100, 15:100 และ 20:100 นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลของขนาดมูมแม่พิมพ์ที่เพิ่มขึ้นจากมูม 1.0 - 1.3 องศา พบว่าอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจะคลาดเคลื่อนจากที่ได้ออกแบบ เนื่องจากตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ 12 คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชีวมวล สำหรับผลการทดลองพบว่าอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงมีค่าระหว่าง 0.75 - 0.9 kg/min ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าระหว่าง 1060 - 1360 kg/m³ ความแข็งแรงในการรับแรงอัดมีค่าระหว่าง 2.5 - 2.8 MPa พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอัดมีค่าระหว่าง 0.14 - 0.28 MJ/kg และค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมีค่า 19.04 - 20.33 MJ/kg [8]

ทองทิพย์ พูลเกษม การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนที่เหลือทิ้งมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยวิธีการอัดแท่งแบบร้อน และเย็น 1 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง และการสิ้นเปลือง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด จากการศึกษาพบว่าเมื่อนำเปลือกทุเรียนที่มีความชื้นร้อยละ 75-80 มาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องสับ แล้วตากแดดจนมี

ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 45 ไปอัดแท่งแบบเย็นโดยไม่ใช้ตัวประสาน และใช้ตัวประสาน โดยนำไปตากแดดให้แห้ง เปลือกทุเรียนอัดแท่งดังกล่าวจะให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าความร้อน 3,671 3,699 และ 3,625 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับการอัดแท่งแบบที่ไม่ใช้ตัวประสาน แบบที่ใช้แป้งเปียก และแบบที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานตามลำดับ สำหรับการอัดแท่งแบบร้อน 1 ซึ่งจะนำเปลือกทุเรียนที่มีความชื้นร้อยละ 45 นี้ไปตากแดด ให้ความชื้นเหลือร้อยละ 10 เสียก่อนแล้วจึงนำมาอัดร้อน พบว่าเปลือกทุเรียนที่อัดแท่งด้วยวิธีนี้ จะให้ความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น โดยมีค่าความร้อน 3,841.5 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกันกับค่าความร้อนที่ได้จากพืชมัธยมศึกษาปดัส อย่างไรก็ตามการอัดด้วยวิธีอัดร้อนนี้ จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.45 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดเย็น (0.08 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของเปลือกทุเรียนอัดแท่ง ทั้งแบบอัดร้อน และแบบอัดเย็น พบว่าเปลือกทุเรียนอัดแท่ง จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานของความร้อนสูงกว่าพืชมัธยมศึกษาปดัส ร้อยละ 6 [9]

ปิยะนันท์ กังแฮ และวรินทร์ เหล็กเพชร ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากส่วนผสมของซีลี้อยู่กับกลีเซอรอลดิบที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากส่วนผสมของซีลี้อยู่กับกลีเซอรอลดิบที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาจากค่าความร้อน และระยะเวลาในการติดไฟ และจะทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนโดยใช้ Automatic Bomb Calorimeter จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน 80 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของกลีเซอรอลดิบ ให้ค่าความร้อนมากที่สุดซึ่งเท่ากับ 4507.1 cal/g เมื่อนำเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตที่อัตราส่วนเดียวกันจำนวน 20 กรัม ไปต้มน้ำปริมาณ 500 มิลลิลิตร สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากอุณหภูมิห้องถึง 94.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดียวกันระยะเวลาติดไฟนั้น จะมีค่าเท่ากับ 0.49 min/g และมีปริมาณ Acrolien ในอากาศเท่ากับ 0.19 ppm. [10]

สดับพร จันทราชภูรี ได้ศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากซีลีวมวล โดยใช้ผงถ่านไม้สนเป็นวัตถุดิบ ตัวแปรที่ศึกษามีอยู่ 3 ตัวแปร คือสารประสาน อัตราส่วนผสม และขนาดของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็ง โดยสารประสานที่ศึกษามี 3 ชนิด คือกากน้ำตาล มันสำปะหลังดิบบด และแป้งมันสำปะหลังหยาบ สัดส่วนผสมตัวประสานต่อเชื้อเพลิงแข็งโดยน้ำหนัก 3 สัดส่วน คือ 6:100 8:100 10:100 การอัดเชื้อเพลิงแข็งนี้จะอัดด้วยเทคนิคเอกซ์ทรูชัน โดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว ด้านความแข็งแรงจะศึกษาอิทธิพลขนาดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง 3 ขนาด คือ 35 40

45 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของตัวประสานเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงกดจะเพิ่มขึ้นโดยแป้งมันสำปะหลังหยาบ จะให้ค่าแรงกดสูงสุดที่ 2811.10 kpa ในขณะที่กากน้ำตาลให้ค่าต้านแรงกดต่ำที่สุดที่ 625.09 kpa นอกจากนี้ขนาดของเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็งยังมีผลต่อความแข็งแรง โดยที่เชื้อเพลิงอัดแท่งแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ที่ใช้แป้งมันสำปะหลังหยาบจะให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ 2811.10 kPa ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 และ 45 มิลลิเมตร จะให้ค่าความแข็งแรงลดต่ำลงมา 12 คือ 2425.60 kPa ตามลำดับ ส่วนค่าวิเคราะห์ห้องค์ประกอบโดยประมาณค่าความร้อน และค่าคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็งพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดของเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็งชนิดของตัวประสาน และอัตราส่วนของตัวประสานทั้ง 3 ชนิด และโดยมันสำปะหลังดิบบดที่อัตรา 10:100 จะให้ค่าความร้อนที่ 27.44 MJ/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถ่านไม้ที่มีขายกันอยู่ทั่วไป มีค่าความร้อนประมาณที่ 28.89 KJ/kg โดยสรุปการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็งตัวประสานที่เหมาะสมที่สุด คือมันสำปะหลังดิบบดที่อัตราส่วน 10:100 เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ให้ค่าความร้อนที่ 27.44 MJ/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถ่านไม้ มีราคาต้นทุน และจุดคุ้มทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าตัวประสานทั้งสองชนิด คือมีราคาต้นทุนอยู่ที่ 4.72 บาทต่อกิโลกรัม และมีจุดคุ้มทุนการผลิตที่ 20.02 ตัน [11]

เชื้อเพลิงขยะ (RDF) เป็นการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า หรือความร้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ คุณลักษณะทั่วไปของเชื้อเพลิงขยะประกอบด้วย (1) ปลอดภัยโรคจากการอบด้วยความร้อน ซึ่งจะลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อโรค (2) ไม่มีกลิ่น (3) มีขนาดเหมาะสมต่อการป้อนเตาเผา-หม้อไอน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 mm. ความยาว 30-150 mm.) (4) มีความหนาแน่นมากกว่าขยะมูลฝอย และชีวมวลทั่วไป (450-600 kg/m³) เหมาะสมต่อการจัดเก็บ และขนส่ง (5) มีค่าความร้อนสูงเทียบเท่ากับชีวมวล (ประมาณร้อยละ 13-18 MJ/kg) และมีความชื้นต่ำ (ประมาณร้อยละ 5-10) (6) ลดปัญหามลภาวะจากการเผาไหม้ เช่น NO_x และไดออกซิน และฟูแรน หลักการทำงานของเทคโนโลยีนี้ เริ่มจากการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิล ออกจากขยะรวม ในบางกรณีจะมีการใช้เครื่องคัดแยกแม่เหล็ก เพื่อคัดแยกมูลฝอยที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ และใช้เครื่อง Eddy Current Separator เพื่อคัดแยกอลูมิเนียมออกจากมูลฝอย จากนั้นจึงป้อนขยะมูลฝอยไปเข้าเครื่องสับ-ย่อยเพื่อลดขนาด และป้อนเข้าเตาอบเพื่อลด

ความชื้นของมูลฝอย โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำ หรือลมร้อนเพื่ออบขยะให้แห้งซึ่งจะทำให้ น้ำหนักลดลงเกือบร้อยละ 50 (ความชื้นเหลือไม่เกินร้อยละ 15) และสุดท้ายจะส่งไปเข้าเครื่องอัดเม็ด (Pellet) เพื่อทำให้ได้เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาด และความหนาแน่นเหมาะสมต่อการขนส่งไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในบางกรณีจะมีการเติมหินปูน (CaO_2) เข้าไปกับมูลฝอยระหว่างการอัดเป็นเม็ดเพื่อควบคุม และลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้การผลิตพลังงานจากขยะ ไม่ว่าจะโรงไฟฟ้าจากขยะ หรือการผลิตเชื้อเพลิงพลังงานจากขยะ (Refuse Derived Fuel – RDF) น่าจะเป็นทางออกที่ดีและยั่งยืนในการจัดการขยะสำหรับเมืองใหญ่ที่มีปริมาณขยะหลายร้อยตัน/วันขึ้นไป เนื่องจากสามารถนำเอาขยะมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงาน และทำให้ความต้องการใช้ที่ดินในการฝังกลบลดลงมาก (แต่ก็ยังจำเป็นต้องมีอยู่สำหรับขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ และใช้ฝังกลบขี้เถ้า) แต่อย่างไรก็ดีดูเหมือนว่าทางเลือกนี้ จะเป็นไปได้ยาก เนื่องจากสถานที่กำจัดขยะประเภทนี้ มีภาพลักษณ์ที่ถูกสร้างมาว่าจะปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งหากมีการลงทุนเพียงพอ เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถกำจัดก๊าซพิษจากการเผาได้เกือบทั้งหมด [12]

การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้ โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากความไม่แน่นอนในองค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นขยะมูลฝอย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามชุมชน และตามฤดูกาล อีกทั้งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง สิ่งเหล่านี้ก่อความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบโรงเผา และผู้ปฏิบัติและควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ยาก การแปรรูปขยะมูลฝอย โดยผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอย เพื่อให้กลายเป็นขยะเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel; RDF) จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้ ซึ่งขยะเชื้อเพลิงที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ 1 ขยะเชื้อเพลิง หมายถึงขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เช่นการคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ออกมา การฉีกหรือตัดขยะมูลฝอยออกเป็นชิ้นเล็กๆ ขยะเชื้อเพลิงที่ได้นี้จะมีค่าความร้อนสูงกว่าหรือมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอว่า ข้อดีของขยะเชื้อเพลิง คือ ค่าความร้อนสูง (เมื่อเปรียบเทียบกับขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมา) ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ การใช้ RDF นั้น ทั้งเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน โดยที่อาจจะมีการใช้ RDF เป็นเชื้อเพลิงภายในที่เดียวกัน หรือมีการขนส่งในกรณีที่ตั้งของโรงงานไม่ได้อยู่ที่เดียวกัน ทางเลือกอีกทางหนึ่งก็คือนำไปใช้เผาพร้อมกับถ่านหิน เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงใน

อุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ ได้มีการนำ RDF ไปใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ทำให้ลดการใช้ถ่านหินลงไปได้ [12]

การผลิตขยะเชื้อเพลิง และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ สำหรับเมืองขนาดเล็กที่มีปริมาณขยะต่ำกว่า 100 ตัน/วัน สามารถนำเทคโนโลยีมารวมกันได้เป็นทางเลือกต่างๆ ดังนี้

1. การผลิตขยะเชื้อเพลิง และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ
2. ถังหมักแบบไร้อากาศ การทำปุ๋ยอินทรีย์12และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ
3. การฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ และผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ
4. เตเผาขยะเพื่อผลิตไฟฟ้า และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

โดยที่ทางเลือกที่ 1 และ 2 นั้น มีเงื่อนไขว่า จะต้องแยกขยะที่แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะการแยกขยะอินทรีย์ พวกเศษอาหารออกจากขยะอื่นๆ และขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ เนื่องจากถ้าทิ้งขยะทุกประเภทรวมกันแล้วบรรทุกรวมกันเพื่อมาทำการคัดแยกที่ศูนย์กำจัดขยะนั้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกต่ำมาก และขยะบางประเภท เช่น กระดาษ หรือบรรจุภัณฑ์บางอย่าง อาจไม่สามารถนำไปรีไซเคิลต่อได้เลย ซึ่งถ้าประชาชนและหน่วยงานต่างๆ ในชุมชนนั้นๆ ไม่สามารถทำได้ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการดำเนินการตามทางเลือกทั้ง 2 ทางนี้ต่ำเกินไป และคงจะต้องหันมาใช้ทางเลือกที่ 3 นั่นคือนำทุกอย่างมาทิ้งรวมกันในหลุมฝังกลบ ส่วนทางเลือกที่ 4 นั้น ไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพราะปริมาณขยะมีน้อยเกินไปที่จะลงทุนทำระบบนี้ [13]

ทฤษฎี

1. ขยะมูลฝอย (Solid waste)

ขยะมูลฝอย หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะใส่อาหาร แก้ว มูลสัตว์หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น ซึ่งสามารถจำแนกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1.1 ขยะอินทรีย์ ได้แก่ขยะจำพวกเศษอาหาร ใบไม้ เศษกระดาษ และถุงพลาสติก ที่ปนเปื้อนทำให้มีคุณภาพต่ำ ไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ มีสัดส่วนในองค์ประกอบขยะมูลฝอยรวมโดยเฉลี่ย ประมาณร้อยละ 64 ของขยะมูลฝอยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

1.1.1 การใช้ประโยชน์ การใช้ประโยชน์จากขยะอินทรีย์ สามารถใช้ได้ 2 แบบคือขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายจำพวกเศษอาหาร ใบไม้ นั้นจะนำมาหมักเป็นทำเป็นปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีความชื้นสูง หรือสามารถนำไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) ในกรณีที่มีจำนวนมาก ส่วนขยะที่ย่อยสลายยากซึ่งมีค่าความร้อนสูงสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงพลังงานได้

1.2 ขยะรีไซเคิล ได้แก่ ขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เช่นขวดแก้ว ขวดพลาสติก โลหะ กระดาษ กระป๋องอะลูมิเนียม เป็นต้น มีสัดส่วนโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

1.2.1 การใช้ประโยชน์ นำกลับไปรีไซเคิล (Recycle) รีユส (Reuse) หรือรีเ็นจิเนียริง (Reengineering)

1.3 ขยะพิษ ได้แก่ ขยะที่มีสารโลหะหนักเป็นองค์ประกอบหรือมีสารเคมีที่เป็นพิษปนเปื้อนเช่นถ่ายไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ ภาชนะยาฆ่าแมลง ภาชนะบรรจุสารเคมีทำความสะอาด เป็นต้น มีสัดส่วนโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

1.3.1 การจัดการ กำจัดด้วยวิธีพิเศษ เช่น การเผาที่อุณหภูมิสูง หรือการนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบปลอดภัย

1.4 ขยะย่อยสลายยากและอื่น ๆ ได้แก่ ขยะจำพวกอิฐ หิน กระจก เศษวัสดุก่อสร้าง และขยะที่ไม่สามารถระบุประเภทได้ มีสัดส่วนโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

1.4.1 การจัดการ นำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบปกติ [1]

ตาราง 1 แสดงชนิดของขยะมูลฝอย และระยะเวลาในการย่อยสลาย [1]

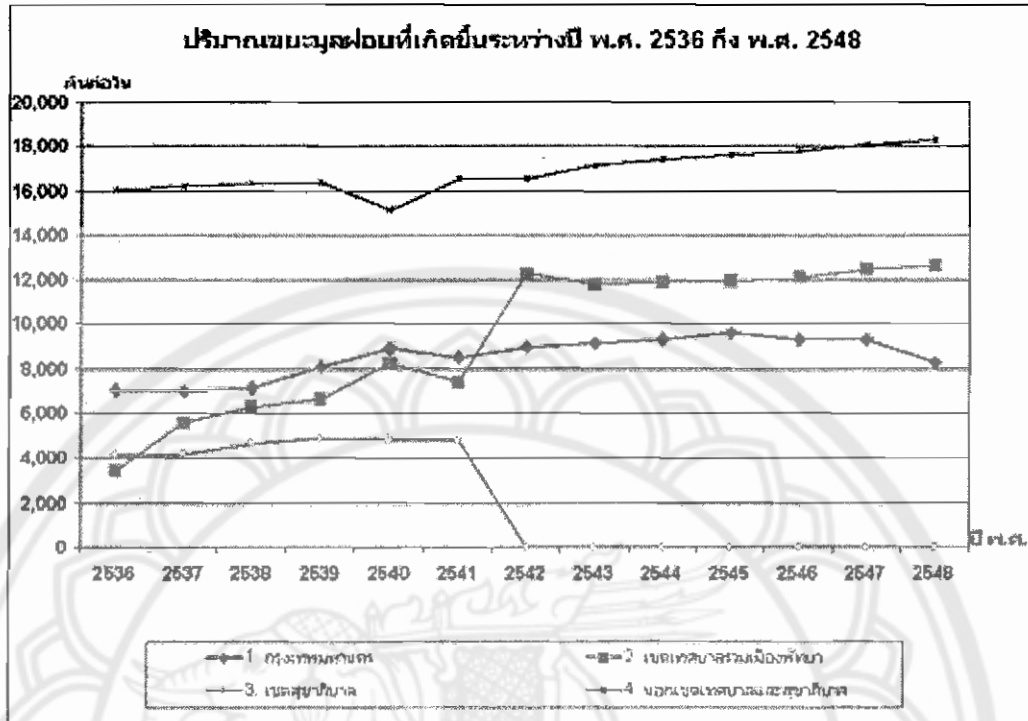
ชนิดขยะ	ระยะเวลา
เศษกระดาษ	2-5 เดือน
เปลือกส้ม	6 เดือน
ถ้วยกระดาษเคลือบ	5 ปี
กันกรองนุหรี	12 ปี
รองเท้าหนัง	25-40 ปี
กระป๋องอะลูมิเนียม	80-100 ปี
ถุงพลาสติก	450 ปี
โฟม	ไม่ย่อยสลาย

ปริมาณขยะมูลฝอยนั้น มีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นทุกปี จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และสังคมในปัจจุบัน ส่งผลให้มีการผลิตสินค้าและบริการมากขึ้นในรูปแบบต่างๆ มากมาย เพื่อ

ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น ซึ่งสินค้า และบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่มีการผลิตที่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์ประกอบที่กำจัดยาก อีกทั้งประชาชนไม่เห็นความสำคัญในการคัดแยกขยะมูลฝอย และของเสียอันตรายชุมชน แหล่งกำเนิดเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ การติดตามข้อมูลสถานการณ์กากของเสียจะช่วยให้สามารถวางแผน จัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายชุมชนได้อย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ 14.3 ล้านตัน หรือ 39,221 ตันต่อวัน (ยังไม่รวมข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยก่อนนำมาทิ้งในถัง) ซึ่งลดลงจากปี 2547 ประมาณ 0.3 ล้านตัน เฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้วันละ 8,291 ตัน ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลและเมืองพัทยาเกิดขึ้นประมาณวันละ 12,635 ตัน และนอกเขตเทศบาลซึ่งครอบคลุมพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบล ทั้งหมดเกิดขึ้นประมาณวันละ 18,295 ตัน แสดงดังภาพที่ 1 ทั้งนี้การที่ปริมาณขยะมูลฝอยลดลงจากปี พ.ศ. 2547 นั้น เนื่องมาจาก ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนในเขตกรุงเทพมหานครลดลง อันเป็นผลมาจากนโยบายของกรุงเทพมหานคร ที่มีเป้าหมายลดปริมาณขยะมูลฝอยให้ได้ร้อยละ 10 แต่ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล ยังคงมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชน การกระตุ้นทางเศรษฐกิจจากภาครัฐบาล การส่งเสริมและการพัฒนาการท่องเที่ยว [1]

ตาราง 2 แสดงปริมาณของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในระหว่าง พ.ศ.2547 – 2548 [1]

พื้นที่	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตันต่อวัน)	
	2547	2548
กรุงเทพมหานคร	9,356	8,291
เขตเทศบาลรวมเมืองพัทยา (1,156 แห่ง)	12,500	12,635
นอกเขตเทศบาล	18,100	18,295
รวมทั้งประเทศ	39,956	39,221



ภาพ 1 แสดงปริมาณขยะมูลฝอยทั้งใน และนอกเขตเทศบาลระหว่างปี พ.ศ. 2536 – 2548 [1]

2. การบำบัดด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ (Mechanical Biological Treatment ,MBT)

การบำบัดด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ คือ การบำบัดขยะมูลฝอยมาย่อยสลายสารอินทรีย์ วัตถุประสงค์ให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะเหลือแต่ขยะที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงพลังงานได้ การบำบัดขยะด้วยวิธี MBT นั้นมีกระบวนการดังนี้คือ

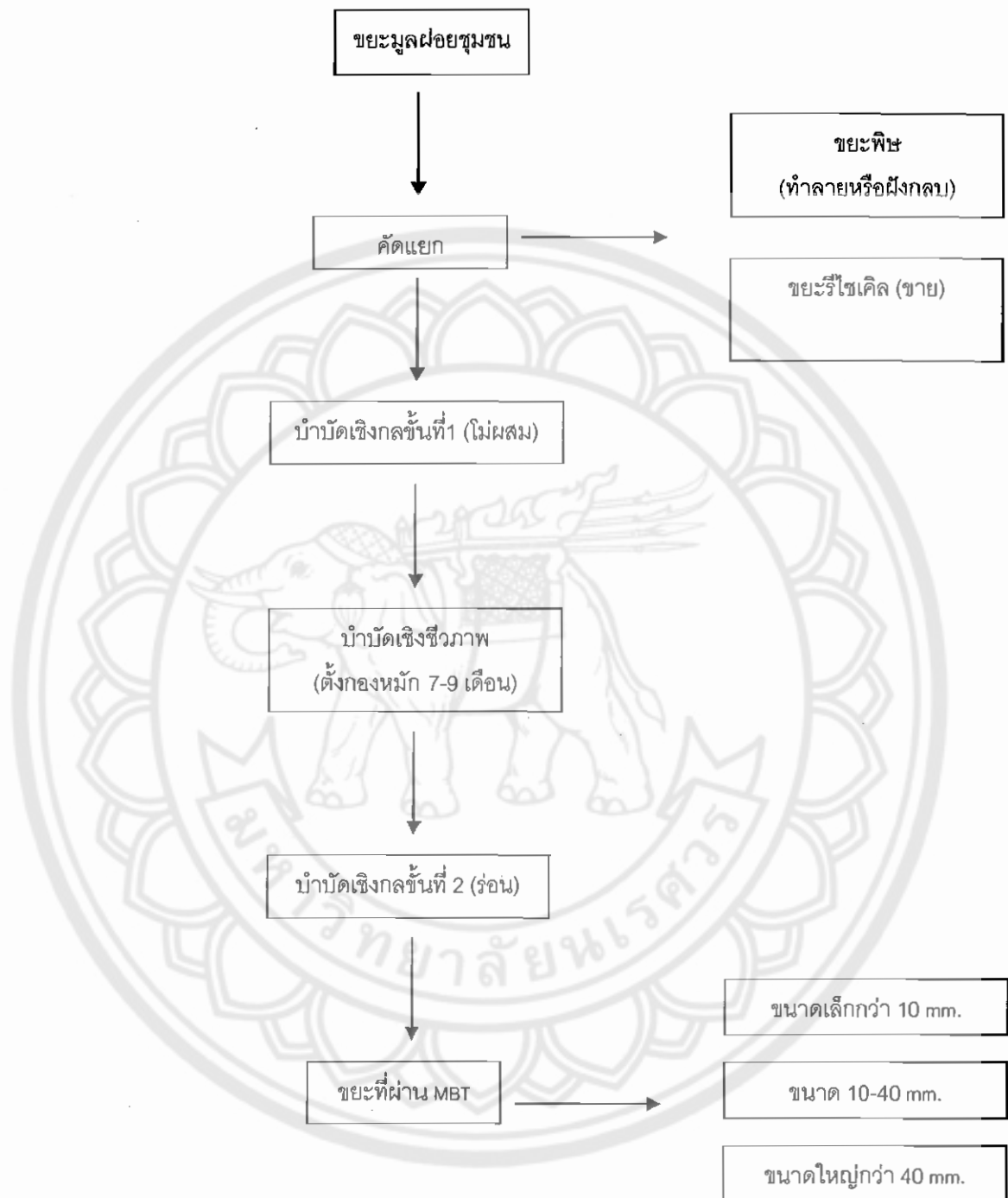
2.1 การคัดแยก คือการนำขยะมาคัดแยกขยะส่วนที่นำไปใช้ได้ออกจากขยะรีไซเคิลและขยะมีพิษแล้วนำขยะพิษไปทำลายหรือฝังกลบส่วนขยะรีไซเคิลนั้นนำไปจำหน่าย

2.2 การบำบัดเชิงกล คือการนำขยะที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาไม่ผสม

2.3 การบำบัดเชิงชีวภาพ คือการนำขยะไปผ่านกระบวนการทางชีวภาพคือการตั้งกองหมัก และใช้ Bio-filiter ทิ้งไว้ 7-9 เดือน

2.4 การบำบัดเชิงกลขั้นที่ 2 คือการนำมาบำบัดเชิงกลครั้งที่สองเพื่อลดขนาดลงโดยการนำไปร่อน

2.5 ขยะหลังผ่านการบำบัด จะถูกแยกขยะออกเป็น 3 ส่วนคือ ขยะที่มีขนาดเล็กกว่า 10 mm. ขยะที่อยู่ในช่วง 10-40 mm. และขยะที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 mm.



ภาพ 2 แสดงขั้นตอนการบำบัดขยะชุมชนด้วยวิธี MBT

3. เชื้อเพลิง (Fuel)

เชื้อเพลิงจะให้พลังงานออกมาเมื่อเผาไหม้ คือการเปลี่ยนจากพลังงานเคมีไปอยู่ในรูปพลังงานความร้อน โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือแก๊สเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง

3.1 แก๊สเชื้อเพลิง เป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากทั้งในภาคอุตสาหกรรม และครัวเรือน เนื่องจากใช้ง่ายและสะดวก โดยแบ่งออกเป็น แก๊สธรรมชาติ แก๊สปิโตรเลียมเหลว แก๊สจากถ่านหิน แก๊สชีวภาพ และแก๊สไฮโดรเจน

3.2 เชื้อเพลิงเหลว เป็นเชื้อเพลิงที่รู้จักกันดีในภาคการขนส่งและการเดินทาง ซึ่งจะรู้จักกันดีในชื่อน้ำมันชนิดต่างๆ แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียม เชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์จากถ่านหินและหินน้ำมัน และเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์จากชีวมวล

3.3 เชื้อเพลิงแข็ง หรือคนทั่วไปรู้จักกันในชื่อของถ่าน แบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือถ่านหิน ไม้ฟืน เชื้อเพลิงแข็งสังเคราะห์ และเชื้อเพลิงแข็งประเภทอื่น ๆ เช่น วัสดุทางการเกษตร ขยะ ถ่านฟีด เป็นต้น [14]

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของเชื้อเพลิงพลังงานแต่ละประเภท [15]

คุณลักษณะ	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	แก๊สเชื้อเพลิง
การขนย้าย	ค่อนข้างลำบาก	ง่าย	ง่าย
การเก็บรักษา	ใช้พื้นที่กว้าง	บรรจุในถัง	บรรจุในภาชนะพิเศษ
ค่าความร้อนต่อน้ำหนัก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ปริมาณเถ้า	มาก	น้อยมาก	ไม่มี
ประสิทธิภาพการเผาไหม้	ต่ำ	สูง	สูงมาก
อุปกรณ์การเผาไหม้	ใหญ่และซับซ้อน	เล็กและไม่ซับซ้อน	เล็กและไม่ซับซ้อน
การเกิดมลภาวะ	มาก	น้อย	น้อยมาก
ราคา	ถูก	ค่อนข้างแพง	แพง
ความต้องการอากาศส่วนเกิน	มาก	น้อย	น้อย

4. เชื้อเพลิงพลังงาน (Refuse Derived Fuel, RDF)

เชื้อเพลิงพลังงาน คือ การทำให้ขยะมูลฝอยอยู่ในสถานะที่เหมาะสมในการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ดังแสดงใน

ตาราง 4 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงพลังงานจากขยะแต่ละประเภท และการเผาไหม้ที่ใช้ [16]

ประเภท	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF1: MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ออกมาได้ด้วยมือรวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF2: Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	FBC,MFC
RDF3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ออก เช่น โลหะแก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ร้อยละ 95 ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF4 : Dust RDF	คัดแยกขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของฝุ่น	FBC,PF
RDF5: Densified RDF	คัดขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600kg/m	FBC,MFC
RDF6 : RDF Slurry	คัดแยกขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปSlurry	Swiri burner
RDF7 : RDF Syngas	คัดแยกขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้มาผ่านกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง(Gasification)เพื่อผลิต Syngas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Burner,IGCC

5. การอัดให้เป็นก้อน (Briquetting)

การอัดให้เป็นก้อน เป็นการนำเทคโนโลยีกรรมวิธีต่างๆ ที่จะเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาอัด โดยการอัดเป็นก้อนนี้สามารถทำได้โดยใช้ตัวประสาน หรือไม่ใช้ตัวประสานก็ได้

การที่วัสดุสามารถเกาะเข้ากันได้ดีในขณะที่อัด โดยที่เมื่อนำออกจากแบบอัดแล้ว วัสดุจะต้องไม่แตกออกจากกัน สามารถทำได้ 2 วิธี คือใช้ตัวประสาน เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุให้ติดกัน และการอุณหภูมิ และความดันที่สูง ก็จะทำให้สารประกอบในตัววัสดุเองทำหน้าที่แทนตัวประสานเพื่อยึดเกาะวัสดุให้ติดกัน เช่น การนำเศษซีลี้อยหรือเศษไม้มาอัดภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดัน ลิกนินในไม้ก็จะทำหน้าที่เหมือนตัวประสานทำให้ซีลี้อยยึดติดกัน

ขั้นตอนของการอัดให้เป็นก้อนประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

5.1 การเก็บสะสมวัตถุดิบ วัสดุที่จะนำมาอัดมีอยู่หลายประเภท เช่น เศษซีลี้อย แกลบ กากอ้อย ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร เศษขยะ เป็นต้น

5.2 เตรียมวัตถุดิบที่จะทำการอัด การเตรียมวัสดุทำได้โดย (1) การลดขนาด เพื่อให้ขนาดของวัสดุที่จะอัดมีความเหมาะสม และสม่ำเสมอ โดยใช้เครื่องบดแบบค้อน (Hammer mill) เครื่องบดแบบหยาบ (Crusher) เครื่องบดแบบละเอียด (Grinder) หรือเครื่องตัด (Cutting machine) (2) การลดความชื้น เนื่องจากวัสดุบางประเภทมีความชื้นอยู่มากจึงต้องลดความชื้นลงก่อน ซึ่งอาจทำได้โดยการอบแห้ง ตากแดด (3) การผสมตัวประสาน ซึ่งวัสดุบางประเภทนั้นจะต้องใช้ตัวประสานเพื่อทำให้ติดกัน ซึ่งอาจผสมมือหรือใช้เครื่องก็ได้

5.3 การอัด การอัดให้เป็นแท่งหรือเป็นก้อนนั้น สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับ การออกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ ซึ่งอาจใช้เครื่องอัดแบบคั้นโยก โดยจะนำวัสดุใส่ลงในภาชนะที่ถูกปิด ด้านบนด้วยฝาปิดที่สามารถสวมกับภาชนะได้พอดี จากนั้นก็ให้ความดันกับวัตถุเพื่อให้แน่น ค่าความดันที่ใช้อาจเริ่มตั้งแต่ $0.5 - 1,200 \text{ kg/cm}^2$ (ทั้งนี้ขึ้นกับวัสดุที่นำมาอัดด้วย) ส่วนการอัดที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นเช่นการอัดแบบใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) พร้อมทั้งให้ความร้อนไปด้วย

5.4 การนำออกจากแบบหรือการอบแห้งหรือการทำให้แห้ง เมื่อวัตถุดิบ ขั้นตอนการอัดแล้ว จะต้องนำวัตถุออกจากเครื่องอัด แล้วนำไปทำให้แห้งก่อน เพื่อลดความชื้นและ ทำให้ตัวประสานแข็งตัวก่อนการนำไปเก็บรักษาต่อไป

6. การอัดแท่งเชื้อเพลิง (Compress)

การอัดเชื้อเพลิงทำได้ 2 แบบ คือ การอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้ความร้อน และการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยไม่ใช้ความร้อน

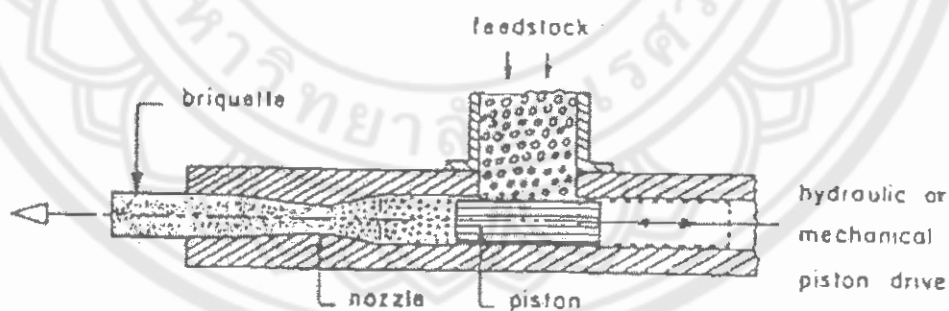
6.1 การอัดแท่งโดยใช้ความร้อน (อัดแบบร้อน) จะใช้แรงอัดสูง และให้ความร้อนแก่กระบอกอัดโดยใช้ขดลวด ซึ่งความร้อนที่ให้นั้นจะทำให้สารประกอบพวกเซลลูโลส ลิกนิน และคาร์โบไฮเดรต ในวัตถุดิบที่นำมาอัดหลอมละลายออกมาเป็นตัวเชื่อมประสานทำเกาะตัวกันเป็นแท่ง ไม่ร่วง โดยวัตถุดิบที่สามารถอัดแบบร้อน คือ แกลบ ชีลื้อย และเศษไม้ และต้องนำมาลดก่อนการอัดให้ความชื้นไม่เกินร้อยละ 5

6.2 การอัดแท่งโดยไม่ใช้ความร้อน (อัดแบบเย็น) เป็นการอัดแบบใช้แรงอัดต่ำหรือการอัดด้วยมือ วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดประเภทนั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่เป็นยาง หรือสามารถเชื่อมติดกันได้ แต่ถ้าเป็นวัตถุดิบที่ไม่มียางหรือไม่สามารถเชื่อมติดกันได้ต้องใช้สารประสานในการอัดเพื่อเชื่อมวัตถุดิบที่จะอัดให้ติดกัน และต้องนำไปลดความชื้นหลังการอัด

7. เครื่องอัดแท่ง (Press)

เครื่องอัดแท่ง แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มตามลักษณะการอัด คือเครื่องอัดแบบลูกสูบ เครื่องอัดแบบเกลียว เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง และเครื่องอัดเม็ด

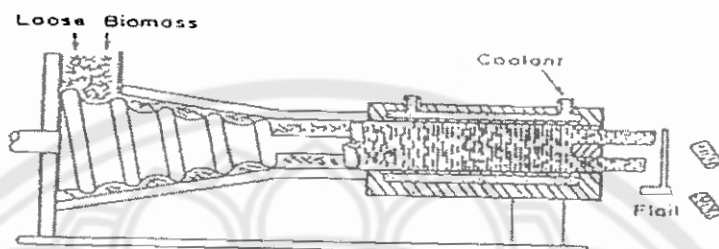
7.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ ประกอบด้วยลูกสูบชัก เพื่อดันวัตถุดิบที่มาจากช่องป้อนเข้าไปในกระบอก มีหลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในกระบอกอัด ซึ่งกระบอกอัดนี้จะทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ [9]



ภาพ 3 แสดงเครื่องอัดแบบลูกสูบ [9]

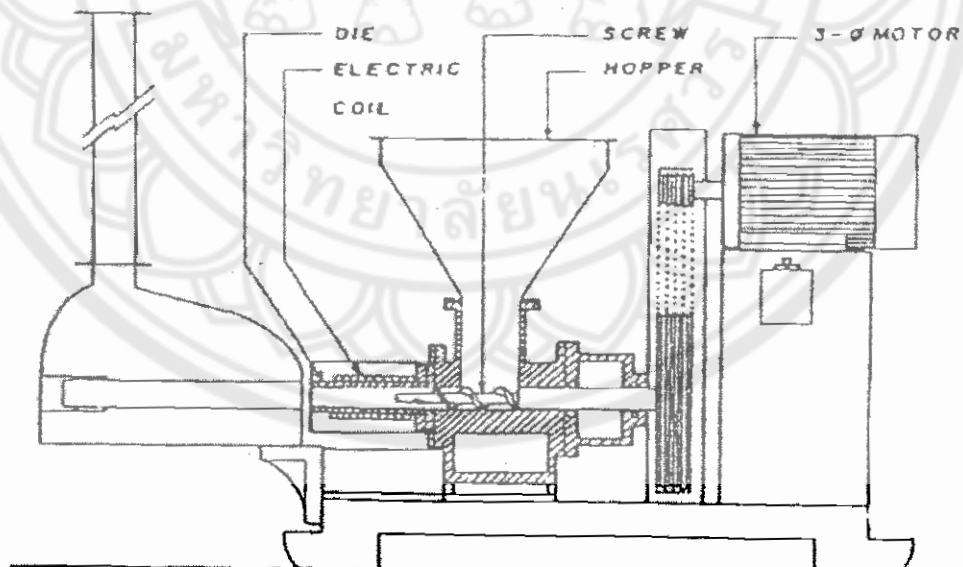
7.2 เครื่องอัดแบบเกลียว ซึ่งแบบออกเป็น 3 ประเภท คือ เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด และเครื่องอัดแบบเกลียวคู่

7.2.1 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย มีหลักการทำงานคือเกลียวจะดันวัสดุให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้า วัสดุจะถูกดันผ่านกระบอกอัด



ภาพ 4 แสดงเครื่องอัดเกลียวรูปกรวย [9]

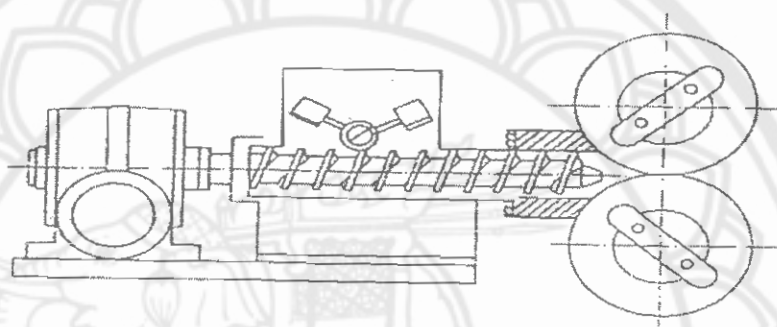
7.2.2 เครื่องอัดเกลียวพร้อมขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด มีหลักการทำงานคือ วัสดุถูกดันโดยเกลียวผ่านเข้าไปที่กระบอกอัดที่มีขดลวดความร้อน ความร้อนนี้จะทำให้วัสดุสัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้ ทำให้สามารถเกาะตัวกันได้ดี



ภาพ 5 แสดงเครื่องอัดเกลียวพร้อมขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด [9]

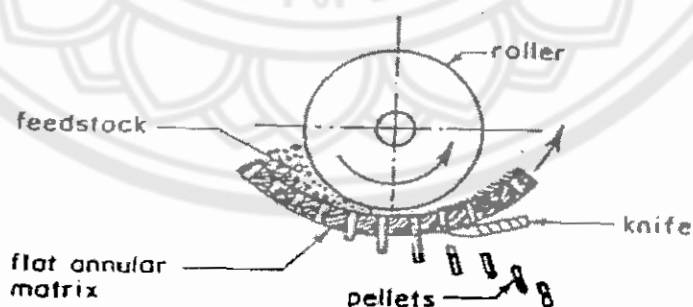
7.2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ มีหลักการทำงานคือมีเกลียว 2 อัน ต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว ที่สามารถเปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เป็นเครื่องอัดที่มีแรงอัดและแรงเสียดสีสูง จึงต้องมีส่วนหล่อเย็น และสามารถอัดวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงได้

7.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง มีหลักการทำงานคือ จะอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในร่องที่เขาะไว้ แล้วหมุนมาประกบกันได้เชื้อเพลิงอัดก้อนรูปหมอน และต้องอาศัยสารประสานเข้ามาช่วย

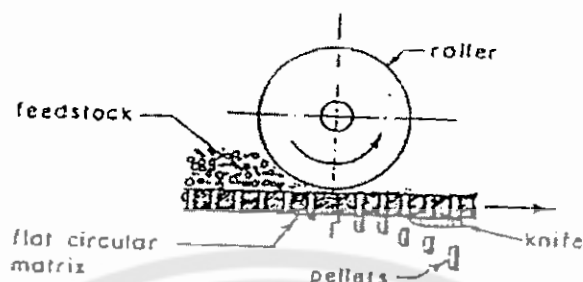


ภาพ 6 แสดงเครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง [9]

7.4 เครื่องอัดเม็ดหรือเครื่องอัดแท่งเป็นแท่งเล็ก ๆ หลักการทำงานคืออาศัยการเสียดสีระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้ง และจะถูกตัดให้เป็นเม็ดด้วยใบมีด [9]



ภาพ 7 แสดงเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน [9]



ภาพ 8 แสดงเครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม [9]

8. ตัวประสาน (Binder)

ตัวประสานที่ใช้กันนั้นมีอยู่หลายชนิด สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

8.1 ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible binder) ได้แก่ ทาร์ (Tar) แป้ง (Starch) สาหร่าย (Alage) มูลสัตว์ เรซิน (Resin) โมลาส (Molars)

8.2 ตัวประสานที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non-combustible binder) ได้แก่ ดินขาว โคลน ซีเมนต์ (Cement)

ส่วนปริมาณตัวประสานที่ใช้นั้น มีปัจจัยทางด้านราคาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเนื่องจากตัวประสานบางชนิดนั้นมีราคาสูง ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมสมควรใช้ตัวประสานในปริมาณที่ไม่มาก สามารถทำให้วัสดุที่นำมาอัดนั้นยังคงรูปเป็นก้อน ให้คุณสมบัติที่ดีต่อการเผาไหม้ แข็งแรง และสะดวกในการขนส่งด้วย

9. มาตรฐานของเชื้อเพลิงแท่ง (ถ่านอัดแท่ง)

มาตรฐานของเชื้อเพลิงแท่งตาม มผช.238/2547 กำหนดวิธีการทดสอบมาตรฐาน และลักษณะที่ต้องการไว้ดังนี้

ตาราง 5 แสดงมาตรฐานของเชื้อเพลิงแท่ง มผช.238/2547 [16]

คุณลักษณะ	มาตรฐาน	วิธีการทดสอบ
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 8	ASTMD 3173
ค่าความร้อน	ไม่น้อยกว่า 5,000 แคลลอรี่ต่อกรัม	ASTMD 5865
การใช้งาน	เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควัน และกลิ่น	ตรวจพินิจ
ลักษณะทั่วไป	ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง	ตรวจพินิจ

10. ค่าพลังงานความร้อน (Heating value)

ค่าพลังงานความร้อน คือค่าความร้อนที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยของน้ำหนักของเชื้อเพลิงเมื่อถูกเผาไหม้ ค่าความร้อนของถ่านหินและเชื้อเพลิงแข็งอื่นๆ จะแสดงในหน่วยความร้อนต่อมวล เช่นระบบหน่วยเอส ไอ เป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม และอนุโลมให้ใช้หน่วย กิโลแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งระบุเป็น บีทียูต่อปอนด์ ด้วยการระบุค่าความร้อนของเพลิงแข็งต้องระบุหลักอ้างอิง (Basis) สภาวะของเชื้อเพลิงด้วยว่าเป็นมวลของเชื้อเพลิงตามสภาพที่เป็นจริง คือรวมความชื้นรวมเข้า หรือไม่รวมความชื้น ไม่รวมเถ้า หรืออื่นๆ เพราะมีผลต่อค่าความร้อน และการนำค่าไปใช้เป็นอย่างมาก การแสดงหาค่าความร้อนมี 2 วิธี

10.1 ค่าความร้อนรวม (Total heating value, THV) /ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value, HHV) /ค่าความร้อนทั้งหมด หมายถึงค่าความร้อนที่จะให้ออกมาเมื่อมีการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยที่ตัวทำปฏิกิริยาเริ่มต้นและผลสุดท้ายของปฏิกิริยาอยู่ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงและน้ำที่เป็นผลจากการเผาไหม้อยู่ในรูปของน้ำ (ของเหลว)

10.2 ค่าความร้อนสุทธิ (Net heating value, NHV) /ค่าความร้อนขั้นต่ำ (Lower heating value, LHV) ความหมายของค่าความร้อนสุทธินั้นเช่นเดียวกับค่าความร้อนรวม แต่หลังจากการเผาไหม้น้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง และที่เกิดเป็นผลจากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของไอน้ำ [14]

ตาราง 6 แสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนขั้นสูง) [14]

ชนิดของเชื้อเพลิง	kJ/m^3	Btu/ft^3
Natural Gas	33,680	904
Propane	87,840	2,358
Oil gas	19,000	510
Coal gas	18,100	486
Blue gas (water gas)	9,760	262

11. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น คืออัตราส่วนระหว่างมวลของวัตถุและปริมาตร การคำนวณค่าความหนาแน่นคำนวณได้จากสูตร

$$d = m/V$$

โดยที่ d คือความหนาแน่น

m คือมวล

V คือปริมาตร

โดยถ้าแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นมาก จะทำให้สามารถบรรจุในบรรจุภัณฑ์ได้ง่ายและปริมาณมาก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านบรรจุภัณฑ์

12. พลาสติก (Plastic)

พลาสติก เป็นสารประกอบประเภทพอลิเมอร์ สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทได้แก่

12.1 การแบ่งตามแหล่งกำเนิด ประกอบด้วย พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ฝ้าย แพร ไหม และพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ คือได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ของโมโนเมอร์ เช่นพอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และพอลิเอสเตอร์

12.2 การแบ่งพอลิเมอร์ตามกระบวนการแปรรูป สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือเทอร์โมพลาสติก หรือพลาสติกที่นำกลับมาหลอมใหม่ได้ และเทอร์โมเซตหรือพลาสติกที่ไม่สามารถนำมาหลอมใหม่ได้



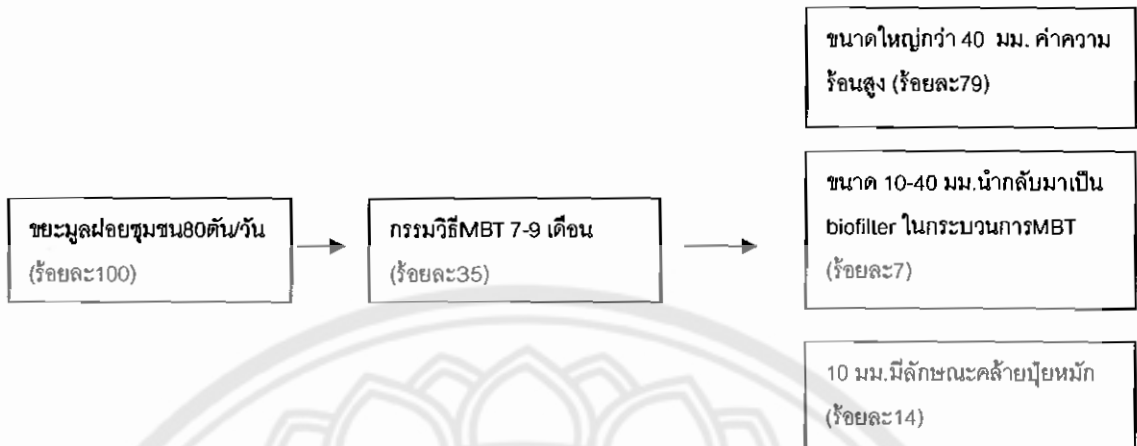
12.3 การแบ่งตามการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ คือการแบ่งตามวิธีการผลิตนั่นเอง [18]

ซึ่งในปัจจุบันนี้พลาสติกกลายเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ ภาชนะ เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ และพลาสติกก็เป็นวัสดุที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน จึงได้มีความพยายามในการนำพลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็น การนำกลับมาใช้ให้ การนำกลับมาหลอมหรือผลิตใหม่ และการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน เป็นต้น

13. การจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลนครพิษณุโลก

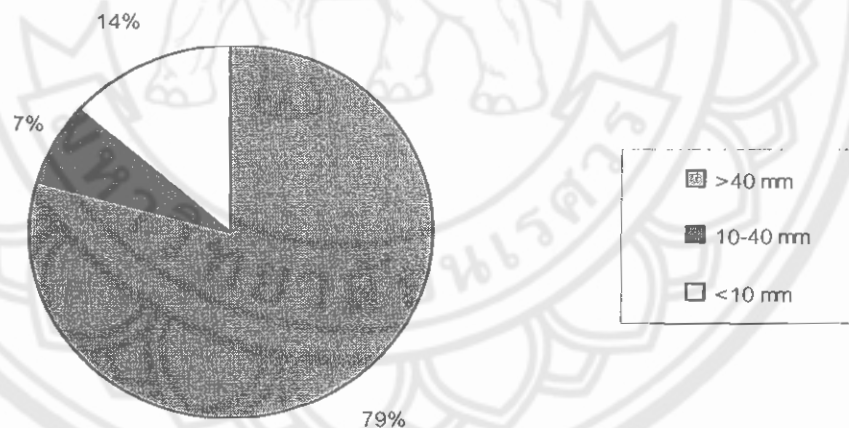
โครงการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับชุมชนเมืองจังหวัดพิษณุโลก เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างไทย-เยอรมันเริ่มดำเนินการในจังหวัดพิษณุโลกเมื่อปี ๒๕๔๒ โดยหน่วยงานจากฝ่ายเยอรมัน ได้แก่ สำนักงานความร่วมมือทางวิชาการของเยอรมัน (GTZ) กับเทศบาลนครพิษณุโลก จากฝ่ายไทยเป็นหน่วยปฏิบัติงาน และเป็นโครงการแรกที่มีการปฏิบัติงานโดยตรงในระดับท้องถิ่น โดยมีเป้าประสงค์เพื่อสร้างความเข้มแข็งให้กับส่วนปกครองท้องถิ่นโดยตรง เทศบาลนครพิษณุโลก เป็นพื้นที่นำร่องสำหรับการพัฒนา การทดลอง และการนำแนวคิดการจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน ตลอดจนเทคนิคการจัดการดำเนินการที่ปรับปรุงแล้วมาใช้ [19]

การบำบัดขยะชุมชนของเทศบาลนครพิษณุโลกด้วยวิธี MBT จะดำเนินการโดยการลด และการย่อยสลายขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีการตั้งกอง และให้อากาศไหลผ่านเพื่อย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน เป็นการลดปริมาณขยะมูลฝอยของชุมชนก่อนที่จะนำไปฝังกลบกล่าวคือขยะมูลฝอยของพิษณุโลกมีประมาณ 80 ตัน/วัน เมื่อผ่านกระบวนการ MBT แล้ว จะเหลือขยะที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นเพียง 25-28 ตัน/วัน (1 ใน 4 ของขยะที่มี) ซึ่งขยะดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ขนาด



ภาพ 9 แสดงองค์ประกอบของขยะที่ผ่านกระบวนการ MBT

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดแบบ MBT ของนคร
พิษณุโลก จากการทดลองเมื่อนำขยะปริมาณ 1,500 ตันมาบำบัด [2] พบว่ามีองค์ประกอบ
ดังต่อไปนี้



ภาพ 10 แสดงปริมาณองค์ประกอบของขยะหลังจากการบำบัดเชิงกลชีวภาพ

ขยะที่มีขนาดใหญ่กว่า 40 มิลลิเมตร พบว่าเป็นพลาสติกร้อยละ 80
 ขยะที่มีขนาด 10-40 มิลลิเมตร พบว่าร้อยละ 60 มีลักษณะคล้ายปุ๋ยหมัก ที่เหลือ
 ประกอบด้วย พลาสติก แก้ว โลหะ กระดาษ โฟม ผ้า และกระเบื้อง
 ขยะที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร พบว่าส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายปุ๋ยหมัก

ดังนั้นถ้ามีการนำขยะมูลฝอยชุมชนที่ผ่านกาบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธี MBT นี้มาเป็นเชื้อเพลิงก็จะมีวัตถุดิบที่สามารถนำมาเป็นต้นทุนเชื้อเพลิงถึง 22 ตัน/วัน (เทศบาลเมืองพิษณุโลก เทศบาลเดียว) ซึ่งถ้านำไปเปรียบเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (ลิกไนต์) ทั้งในเรื่องราคาแล้วเท่ากับว่าเราฝังกลับเชื้อเพลิงพลังงานวันละ 22 ตันซึ่งสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลได้

ตาราง 7 แสดงปริมาณของขยะเทศบาลนครพิษณุโลก [19]

เทศบาล	จำนวนประชากร(คน)			ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน/วัน)	อัตราการผลิตขยะ (กก.คน/วัน)
	ทะเบียนราษฎร์	ประชากรแฝง	รวม		
พิษณุโลก	82,698	50,000	132,698	120	0.90



ภาพ 11 แสดงประสิทธิภาพของขยะที่สามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน

คุณลักษณะของขยะมูลฝอยเทศบาลนครพิษณุโลกที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธี MBT เป็นเวลา 9 เดือน ทางด้านเคมี และกายภาพ โดยแยกตามขนาด

ตาราง 8 แสดงคุณสมบัติของขยะที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีMBTทางเคมี และกายภาพ [2]

คุณสมบัติของขยะ	ขนาดของขยะ		
	> 40 มม.	10-40 มม.	< 10 มม.
ความหนาแน่น (Density) (kg/m ³)	143	673	816
ความชื้น (Moisture content) (ร้อยละ)	13	25	27
ปริมาณของแข็ง (Total solid) (mg/g)	879	748	731
ปริมาณสารที่ไหม้ไฟได้ (Volatile Solid) (mg/g)	841	336	175
ปริมาณเถ้า (Ash content) (mg/g)	159	664	825
อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) (mg/g)	114	195	300
ไฮโดรเจน (H)(mg/g)	56	22	12
ไนโตรเจน (N)(mg/g)	5	9	13
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.7	8.3	8.0
คลอไรด์ (Cl)(mg/g)	6.6	7.3	5.9
ซัลเฟต (S)(mg/g)	3.9	10.2	6.0