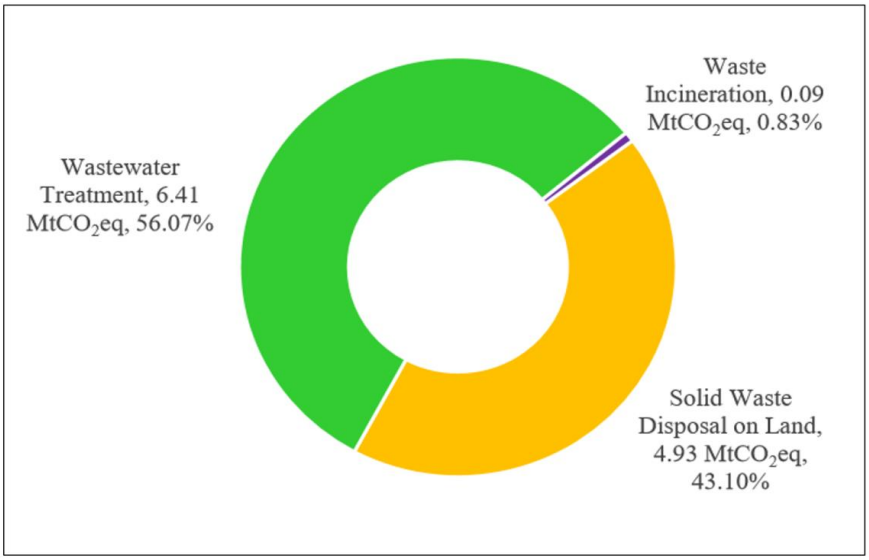
การลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอย[1]

โดย ดร.ปวีณา พาณิชยพิเชฐ
สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล
องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

ปัญหาโลกร้อนมีสาเหตุมาจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นในบรรยากาศ การจัดการของเสียเป็นกิจกรรมหนึ่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคของเสียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปีเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะมูลฝอยและการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ข้อมูลจากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559 ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มจาก 1.03 กิโลกรัม/คน/วัน ในปี พ.ศ. 2551 เป็น 1.14 กิโลกรัม/คน/วัน ในปี พ.ศ. 2559 และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกต้องได้เพียง 9.57 ล้านตัน จากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น 27.06 ล้านตัน วิธีการจัดการหลักที่ใช้ ได้แก่ การฝังกลบ การหมักทำปุ๋ย การเผาในเตาเผา และวิธีอื่น ๆ เท่ากับ 7.82 0.50 0.70 และ 0.55 ล้านตัน ตามลำดับ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอย

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบและการเผาขยะที่รายงานในบัญชีก๊าซเรือนกระจกปี 2554 เท่ากับ 4.93 และ 0.09 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 43.10 และ 0.83 เมื่อเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากภาคของเสีย



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคของเสีย ปี 2554
(หน่วยเป็น ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า, %)
ที่มา: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (2015)

[1] บทความนี้จะแทนคำว่า “ขยะมูลฝอยชุมชน” ด้วยคำว่า “ขยะมูลฝอย”

ก๊าซเรือนกระจกหลักที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดเนื่องจากการฝังกลบขยะมูลฝอยเป็นวิธีการจัดการขยะมูลฝอยที่ใช้กันโดยทั่วไปและเป็นวิธีการจัดการที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า การฝังกลบขยะมูลฝอยจะทำให้ขยะอินทรีย์ ได้แก่ ไม้ กระดาษ อาหาร สิ่งทอ กิ่งไม้/ใบไม้ เกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (anaerobic decomposition) ทำให้องค์ประกอบประเภทโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และไขมันในขยะอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายกลายเป็นกรดอะมิโน น้ำตาลและกรดไขมันและถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจน แอมโมเนีย และกรดระเหยง่าย และกลายเป็นก๊าซชีวภาพ (biogas) ในท้ายที่สุด ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60 ที่เหลือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาจเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ร่วมด้วยแต่เกิดในปริมาณที่น้อยมาก ก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นมากหากขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบของขยะอินทรีย์มาก ค่าความชื้นของขยะมูลฝอยสูง และหลุมฝังกลบมีสภาวะไร้อากาศมาก สภาวะไร้อากาศในหลุมขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นขยะมูลฝอย การกลบด้วยดิน/การบดอัดจะทำให้มีสภาวะไร้อากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนยังขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของหลุมฝังกลบอีกด้วย นอกจากการปล่อยก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศแล้ว การใช้เครื่องจักรในการดำเนินงาน เช่น รถบรรทุก รถตัก รถบดอัด เครื่องบดย่อย จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้พลังงานไฟฟ้าก็ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเดียวกัน เนื่องจากประเทศไทยผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงหลัก ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน การเผาไหม้ขยะมูลฝอยทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน เนื่องจากการเผาไหม้ทำให้คาร์บอนฟอสซิลของขยะพลาสติกกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้การเผาไหม้ยังทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ในปริมาณเล็กน้อยเช่นเดียวกับการหมักทำปุ๋ย

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอย

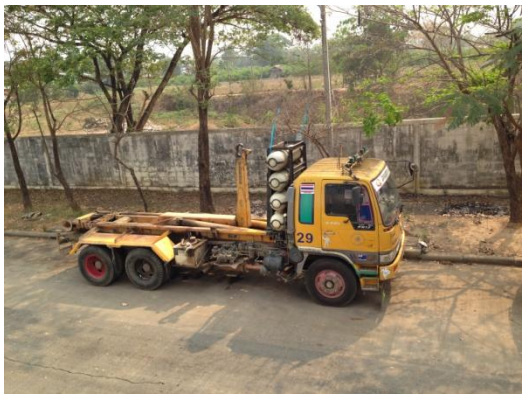
แนวทางหลักในการลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยคือการลดการฝังกลบ เนื่องจากการฝังกลบขยะมูลฝอยทำให้สูญเสียพื้นที่ที่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น มลภาวะกลิ่น การปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ความเสี่ยงจากการเกิดไฟไหม้จากการลุกติดไฟของก๊าซมีเทนที่สะสมอยู่ในหลุมฝังกลบ ปัญหาการต่อต้านจากชุมชนจึงทำให้ยากต่อการจัดหาพื้นที่ใหม่ที่จะพัฒนาเป็นหลุมฝังกลบเพิ่มเติม วิธีการจัดการขยะมูลฝอยที่ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกที่ควรดำเนินการ ได้แก่ การลดปริมาณขยะมูลฝอย และการจัดการขยะมูลฝอยโดยใช้วิธีผสมผสาน มาตรการภายใต้แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ. 2559–2564) ได้กำหนดให้ลดอัตราการเกิดขยะมูลฝอย (waste prevention and minimization) โดยใช้หลักการ 3Rs การจัดให้มีศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวม (cluster) และการกำจัดขยะมูลฝอยแบบผสมผสานและแปรรูปผลิตเป็นพลังงาน หรือการคัดแยกเพื่อผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) โดยเสนอให้พื้นที่ชุมชนขนาดใหญ่ใช้เตาเผาซึ่งสามารถรองรับปริมาณขยะมูลฝอยมากกว่า 300 ตัน/วัน สำหรับหลุมฝังกลบขนาดใหญ่ซึ่งมีขยะมูลฝอยมาฝังกลบอย่างต่อเนื่องสามารถวางท่อเพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ส่วนกลุ่มพื้นที่ชุมชนขนาดกลางให้ใช้ระบบการจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน อาทิ การทำปุ๋ยอินทรีย์ การนำขยะอินทรีย์มาผลิตก๊าซชีวภาพ การผลิตเชื้อเพลิง (RDF) และนำขยะมูลฝอยส่วนที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ไปกำจัดโดยฝังกลบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ส่วนกลุ่มพื้นที่ชุมชนขนาดเล็กซึ่งรองรับปริมาณขยะ

มูลฝอยน้อยกว่า 50 ตัน/วัน ให้ใช้ระบบการจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน อาทิ การทำปุ๋ยอินทรีย์อย่างง่าย การผลิตเชื้อเพลิง (RDF) ปัจจัยหลักในการเลือกวิธีการจัดการที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ระยะทางขนส่งระหว่างจุดที่จัดเก็บขยะมูลฝอยกับสถานที่กำจัด รายละเอียดของวิธีจัดการขยะมูลฝอยที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสรุปได้ ดังนี้

1. การจัดเก็บและขนส่งขยะมูลฝอย

การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการจัดเก็บและขนส่งขยะมูลฝอยทำให้เกิดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทอื่นที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง เช่น การเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลเป็นก๊าซธรรมชาติซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 74,100 และ 56,100 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/เทราจูล ตามลำดับ (IPCC, 2006) หรือการเปลี่ยนไปใช้น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเมื่อสัดส่วนของน้ำมันพืชที่ผสมในน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ส่วนการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำได้โดยการลดจำนวนเที่ยวรถที่ใช้ในการเก็บขยะมูลฝอยและระยะทางในการขนส่งขยะมูลฝอย โดยอาจเปลี่ยนวิธีการเก็บขยะมูลฝอยจากการจัดเก็บทีละบ้านเป็นการเก็บขยะมูลฝอยจากจุดทิ้งขยะมูลฝอยรวมซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการจัดเก็บและสามารถจัดเก็บขยะมูลฝอยในแต่ละเที่ยวได้เพิ่มขึ้น ช่วยลดจำนวนเที่ยวและจำนวนรถที่ต้องใช้ หรือการเปลี่ยนไปใช้รถที่มีระบบอัดขยะมูลฝอยซึ่งทำให้จัดเก็บขยะมูลฝอยได้มากขึ้นและลดจำนวนเที่ยวได้เช่นเดียวกัน กรณีที่ระยะทางระหว่างจุดจัดเก็บและสถานที่กำจัดห่างกันมากควรจัดให้มีสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอย ตัวอย่างเมืองที่มีสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอย เช่น กรุงเทพมหานครมีสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอย จำนวน 3 แห่งที่อ่อนนุช หนองแขม ท่าแร้ง และยังมีสถานีขนถ่ายขยะมูลฝอยย่อย 4 มุมเมืองและในพื้นที่สำคัญ เช่น สถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยรัชวิภา ซึ่งรวบรวมขยะมูลฝอยจากเขตใกล้เคียง ได้แก่ เขตจตุจักร บางซื่อ และเขตดินแดง มาบรรจุในตู้คอนเทนเนอร์ขนาดใหญ่ก่อนขนส่งไปยังโรงงานกำจัดขยะมูลฝอย หรือตัวอย่างสถานีขนถ่ายมูลฝอยของเทศบาลนครพิษณุโลกซึ่งนำขยะมูลฝอยจากรถเก็บขยะมูลฝอยมาบดอัดใส่ตู้คอนเทนเนอร์ ดังรูปที่ 2.1 ก่อนใช้หัวลากที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 2.2 ขนส่งขยะมูลฝอยไปยังสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลฯ การลดการใช้น้ำมันดีเซล 1 ลิตร สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2.7 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ 2.1 การนำขยะมูลฝอยจากรถเก็บมาบดอัดใส่ตู้คอนเทนเนอร์ก่อนขนส่งไปยังสถานที่กำจัด

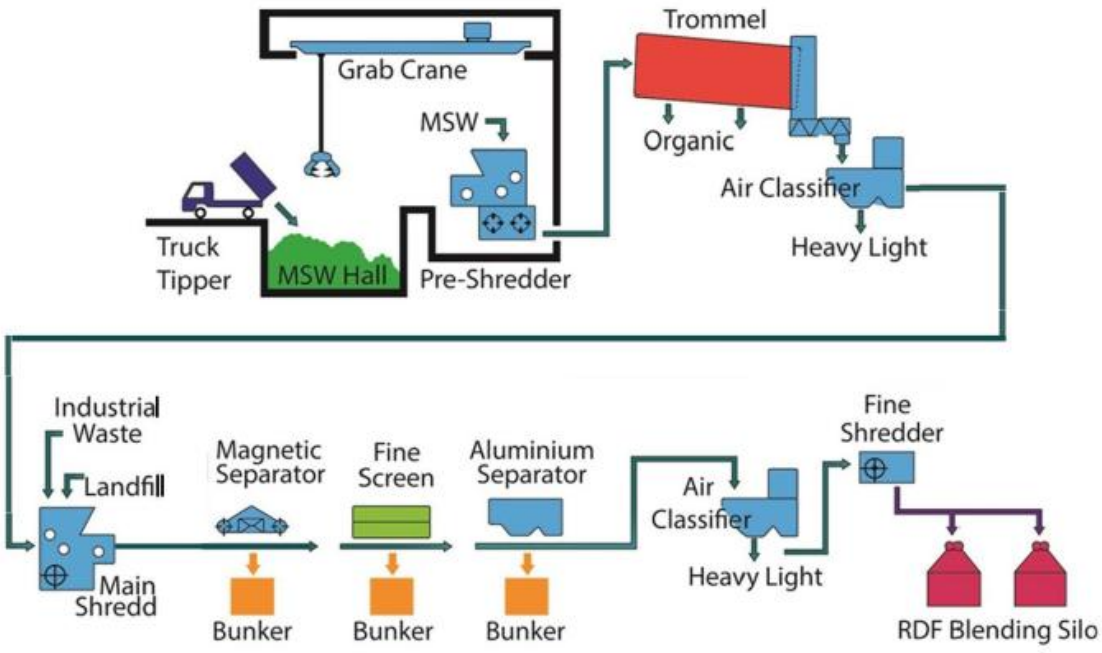


รูปที่ 2.2 การใช้ก๊าซธรรมชาติแทนน้ำมันดีเซลในการขนส่ง

รูปที่ 2 การขนส่งขยะมูลฝอยของเทศบาลนครพิษณุโลก

2. 3R และการคัดแยกขยะมูลฝอย

3R ได้แก่ การลดการใช้ (Reduce) ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้นทาง การใช้ซ้ำ (Reuse) เช่น การคัดแยกขวดแก้วไปล้างแล้วนำไปใช้ใหม่ และการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เช่น การคัดแยกเศษแก้ว พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม กลับมาหลอมเพื่อใช้ใหม่ 3R เป็นมาตรการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ทั้งภาคพลังงานและอุตสาหกรรมการผลิต การคัดแยกขยะมูลฝอยนอกจากจะได้ขยะรีไซเคิลแล้วยังได้ขยะประเภทอื่น ๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ขยะอินทรีย์ ขยะที่มีค่าความร้อนเพียงพอที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ ระบบคัดแยกขยะมูลฝอยที่ดีจะช่วยให้การจัดการขยะมูลฝอยขั้นต่อไปทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบคัดแยกขยะมูลฝอยควรเริ่มต้นจากการฉีกถุงด้วยเครื่อง เนื่องจากขยะมูลฝอยจากครัวเรือนมักถูกบรรจุในถุงและอาจซ้อนกันหลายชั้นจึงยากต่อการคัดแยก กรณีที่คัดแยกด้วยมือต้องออกแบบความยาวของสายพานให้เพียงพอและตั้งความเร็วของสายพานให้ผู้คัดแยกสามารถคัดแยกขยะมูลฝอยได้ทัน กรณีที่ขยะมูลฝอยมีปริมาณมากพอคุ้มค่ากับการลงทุนควรใช้เครื่องจักรในการคัดแยกขยะมูลฝอย การคัดแยกขยะมูลฝอยด้วยเครื่องจักรจะแยกตามขนาด ความหนาแน่น และคุณสมบัติทางแม่เหล็กซึ่งใช้แยกขยะมูลฝอยจำพวกเศษเหล็ก ตัวอย่างกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยโดยใช้เครื่องจักร เช่น บริษัท ทีพีไอ โพลีน เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน) ใช้เครื่องร่อน (trommel) ในการแยกขยะอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยที่จะนำไปคัดแยกต่อด้วยเครื่องแยกด้วยลม ก่อนผ่านเครื่องสับหยาบ และแยกเศษเหล็กออกโดยใช้แม่เหล็ก ก่อนผ่านตะแกรงละเอียดเข้าสู่เครื่องแยกอลูมิเนียมและเครื่องแยกด้วยลม และเข้าสู่เครื่องสับละเอียดเพื่อให้ได้วัตถุดิบสำหรับผลิตเชื้อเพลิงขยะ (บริษัท ทีพีไอโพลีน เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน), 2559) ได้แก่ เศษผ้า พลาสติก กระดาษ ส่วนขยะอินทรีย์ที่ถูกแยกออกโดยเครื่องร่อนจะถูกนำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยของบริษัท ทีพีไอ โพลีน เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)

3. การรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ (Landfill gas recovery) มาผลิตพลังงานไฟฟ้า

ถึงแม้การลดการฝังกลบขยะมูลฝอยจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบขยะมูลฝอย อย่างไรก็ตาม วิธีการที่เหมาะสมสำหรับหลุมฝังกลบขนาดใหญ่ที่รับขยะมูลฝอยปริมาณมากและต่อเนื่อง คือ การรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า สาเหตุที่ต้องมีขยะมูลฝอยปริมาณมากเนื่องจากหากปริมาณก๊าซชีวภาพไม่มากพอจะไม่คุ้มค่าในการลงทุนวางท่อก๊าซและติดตั้งเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ (gas engine) และที่ต้องมีขยะมูลฝอยเข้าอย่างต่อเนื่องเป็นเพราะขยะอินทรีย์จะย่อยสลายได้ดีและทำให้เกิดก๊าซชีวภาพมากในช่วง 3-5 ปี แรก หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนไม่คุ้มค่ากับการดำเนินงานหากไม่มีขยะมูลฝอยใหม่เข้าสู่หลุมฝังกลบ ก๊าซชีวภาพที่รวบรวมจากหลุมฝังกลบต้องผ่านระบบลดความชื้นและกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อนเพื่อไม่ให้กัดกร่อนเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ ควรมีระบบเผาทำลายก๊าซชีวภาพด้วยเพื่อความปลอดภัย กรณีที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศต้องมีการรวบรวมก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย การนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาผลิตพลังงานไฟฟ้านอกจากจะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศแล้วยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลอีกด้วย ปัจจุบันมีการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้วจำนวนหลายแห่ง ได้แก่ หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม และที่อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของจังหวัดเชียงใหม่ที่อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาผลิตพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าบ้านตาลและโรงไฟฟ้าท่าเชียงทอง ดังรูปที่ 4 แต่ละโรงมีกำลังการผลิตติดตั้ง 1.063 MW และสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 33,625 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี (บริษัท ท่าเชียงทอง จำกัด, 2559)

01 หลุมฝังกลบขยะ		08 โรงอบแห้งใช้ความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้า
02 สถานีดูดและลด H_2S โรงไฟฟ้าบ้านตาล	05 โรงไฟฟ้าบ้านตาล	09 มิเตอร์ซื้อและขายไฟฟ้า บ.โรงไฟฟ้าบ้านตาล
03 สถานีดูดและลด H_2S โรงไฟฟ้าท่าเชียงทอง	06 โรงไฟฟ้าท่าเชียงทอง	10 มิเตอร์ซื้อและขายไฟฟ้า บ.โรงไฟฟ้าท่าเชียงทอง
04 บอลลูนเก็บก๊าซ 4 ลูก ขนาด 2,500 ลบ.ม./ลูก	07 อาคารสำนักงาน	11 อาคารสูบก๊าซส่งเข้าโรงไฟฟ้า

รูปที่ 4 การรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าบ้านตาลและท่าเชียงทอง

4. การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศ (Semi-aerobic landfill)

การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศเป็นการฝังกลบขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบที่มีการรวบรวมน้ำชะขยะโดยติดตั้งท่อหลักแบบรูพรุนเข้ากับท่อสาขาซึ่งมีรูพรุนเช่นกัน โดยท่อเหล่านี้จะมีก้อนหินขนาดใหญ่วางรอบแนวท่อเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อแตกร้าว โดยช่องว่างระหว่างก้อนหินขนาดใหญ่มากพอที่จะทำให้อากาศภายในท่อรวบรวมน้ำชะขยะสามารถผ่านรูพรุนของท่อและหินเข้าไปในชั้นขยะมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบได้ดี ท่อสาขาจะถูกเชื่อมต่อกับระบบท่อระบายอากาศซึ่งเป็นท่อที่มีรูพรุนและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ท่อระบายอากาศจะถูกติดตั้งในแนวตั้ง เพื่อให้อากาศภายในหลุมฝังกลบไหลออกสู่ภายนอกและสามารถไหลไปยังชั้นขยะมูลฝอยรอบ ๆ ได้ อากาศจะผ่านเข้าไปในหลุมฝังกลบโดยการนำความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในหลุมฝังกลบ ขนาดของท่อหลักและท่อสาขาต้องสามารถรองรับปริมาณน้ำชะขยะซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นของขยะมูลฝอย ปริมาณน้ำฝน การระเหยของน้ำ ปริมาณน้ำไหลบ่า และความชันของท่อ น้ำชะขยะต้องมีปริมาตรน้อยกว่า 1/3 ของปริมาตรท่อเพื่อไม่ให้เกิดการปิดกั้นการไหลเวียนของอากาศ การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่รู้จักกันในชื่อวิธีการแบบฟุกุโอกะ (Fukuoka Method) ซึ่งมีการพัฒนามานานกว่ายี่สิบปีโดยมหาวิทยาลัยฟุกุโอกะ ประเทศญี่ปุ่น และได้รับการยอมรับจาก United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) ว่าเป็นเทคโนโลยีที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาครั้งแรกที่เทศบาลนคร แหลมฉบังเมื่อปี พ.ศ. 2550 และก่อสร้างจริงที่เทศบาลเมืองสีคิ้ว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา เป็นแห่งแรก ในปี พ.ศ. 2558 ดังรูปที่ 5.1 เพื่อเป็นพื้นที่ต้นแบบและขยายผลเป็นศูนย์การเรียนรู้ให้กับท้องถิ่นอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต บ่อฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศของเทศบาลเมืองสีคิ้วมีขนาด 4,320 ตารางเมตร สามารถรองรับขยะได้รวมประมาณ 2,700 ตัน นอกจากนี้มีการก่อสร้างบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศโดยการสนับสนุนของรัฐบาลญี่ปุ่นเพื่อรองรับขยะมูลฝอยที่เกิดในศูนย์พักพิงผู้ประสบภัยจากการสู้รบ ต.แม่หละ อ.ท่าสองยาง จ.ตาก ดังรูปที่ 5.2 หลุมฝังกลบสามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ 6 ตัน/วัน จากการตรวจวัด พบว่า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศเท่ากับ 0.011 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะมูลฝอย ข้อดีของการฝังกลบแบบกึ่งใช้อากาศ คือ การมีออกซิเจนไหลเวียนอยู่ในหลุมฝังกลบจึงช่วยลดกลิ่นเหม็น วิธีการนี้ทำให้ขยะอินทรีย์ย่อยสลายได้ดีและรวดเร็วขึ้น ขยะยุบตัวเร็วจึงยืดอายุการใช้งานของบ่อ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2560)

รูปที่ 5.1 เทศบาลเมืองสีคิ้ว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

รูปที่ 5.2 ศูนย์พักพิงผู้ประสบภัยจากการสู้รบ ต.แม่หละ อ.ท่าสองยาง จ.ตาก

รูปที่ 5 หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศ

5. การหมักทำปุ๋ย (Composting)

การหมักทำปุ๋ยเป็นกิจกรรมที่ช่วยลดการฝังกลบขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษกิ่งไม้ ใบไม้หรือขยะผสม มาหมักในสภาวะที่มีอากาศ อาจเป็นการกองทิ้งไว้ หรือมีการพลิกกลับกองด้วยแรงคนหรือเครื่องจักรขึ้นอยู่กับปริมาณและวิธีการจัดการ โดยอาจมีกระบวนการอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักมีความเหมาะสม กรณีที่เป็นขยะผสมจะต้องมีกระบวนการเพื่อคัดแยกสิ่งเจือปนออกในภายหลัง การทำปุ๋ยหมักมีหลากหลายรูปแบบและขนาด กระบวนการหมัก แหล่งที่มาของขยะอินทรีย์อาจได้จากเศษผัก ผลไม้ เศษกิ่งไม้ ใบไม้ภายในครัวเรือน เศษผัก ผลไม้จากตลาดสด เศษกิ่งไม้ ใบไม้จากการตัดแต่งกิ่งไม้ในสวนสาธารณะหรือเกาะกลางถนน หรือได้จากการคัดแยกขยะมูลฝอยของเทศบาลหรือสถานที่กำจัดมูลฝอย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักจะจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์หากมีคุณสมบัติครบถ้วนตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ คุณสมบัติตามประกาศปี พ.ศ. 2557 ซึ่งกำหนดว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียสทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 0.5 และ 0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่เกิน 20:1 และความชื้นไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากขยะผสมอาจมีโลหะหนักหรือสารพิษปนเปื้อนได้ ตัวอย่างของเมืองที่มีกิจกรรมหมักทำปุ๋ย เช่น เทศบาลนครพิษณุโลกรวบรวมขยะเศษผัก ผลไม้จากตลาดมาผลิตปุ๋ยหมัก ที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานครให้เอกชนผลิตปุ๋ยจากขยะผสมปริมาณ 1,000 ตัน/วัน และมีการนำเศษกิ่งไม้ ใบไม้จากการปรับปรุงตกแต่งต้นไม้ บริเวณสวนสาธารณะ หรือเกาะกลางถนนจากเขตพื้นที่ต่าง ๆ ในความรับผิดชอบของกรุงเทพมหานครมาหมักร่วมกับกากตะกอนที่ได้จากกระบวนการกำจัดสิ่งปฏิกูล ดังรูปที่ 6 เป็นระยะเวลา 45-60 วัน จากนั้นนำไปอบเพื่อฆ่าเชื้อโรค คัดแยก และลดขนาดปุ๋ย ก่อนบรรจุถุงเพื่อใช้ในกิจการสวนสาธารณะของกรุงเทพมหานคร (สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2559) จากข้อมูลค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะมูลฝอยของประเทศไทย ในปี 2546 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) การผลิตปุ๋ยหมักจากขยะผสมสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.38 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะมูลฝอย และการผลิตปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.53 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตัน ตามลำดับ

เศษกิ่งไม้ ใบไม้จากการปรับปรุงตกแต่งต้นไม้จากเขตพื้นที่ต่าง ๆ ในความรับผิดชอบของ กทม.

กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสิ่งปฏิกูล

โรงหมักปุ๋ย

เครื่องพลิกกลับกอง

เครื่องอบปุ๋ยเพื่อฆ่าเชื้อ

รูปที่ 6 การผลิตปุ๋ยหมักจากกิ่งไม้ ใบไม้ของศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร

6. การหมักขยะอินทรีย์แบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) และการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์

การหมักแบบไร้อากาศเป็นการนำขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษวัสดุทางการเกษตร มาหมักในสภาวะที่ไร้อากาศ และนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า ส่วนกากตะกอนจากระบบหมักแบบไร้อากาศสามารถนำไปหมักทำปุ๋ยหรือตากแห้งเพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงสภาพดิน กรณีที่เป็นระบบขนาดใหญ่จะต้องมีระบบเผาทำลายก๊าซชีวภาพด้วยเพื่อความปลอดภัย ขยะอินทรีย์ที่จะเข้าระบบหมักแบบไร้อากาศต้องไม่มีสารพิษปนเปื้อนเนื่องจากสารพิษจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบหมักตายและระบบล้มเหลวได้ ตัวอย่างระบบหมักแบบไร้อากาศ เช่น เทศบาลนครนครราชสีมา อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา นำขยะอินทรีย์มาหมักรวมกับสิ่งปฏิกูลเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 0.8 เมกะวัตต์ เทศบาลตำบลโคกกรวด อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ได้รวบรวมเศษอาหารจากถังที่ใช้จัดเก็บเศษอาหารโดยเฉพาะที่ตั้งไว้ที่ร้านค้าและบ้านเรือนมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้กับเครื่องบดย่อยเศษอาหาร ดังรูปที่ 7.1 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้นำเศษอาหารจากถังที่ใช้จัดเก็บเศษอาหารโดยเฉพาะที่ตั้งไว้ในโรงอาหารของตลาดร่มสักมาหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและ

นำไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม ดังรูปที่ 7.2 จากข้อมูลค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะมูลฝอยของประเทศไทย ในปี 2546 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารตลาดร่มสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559) การหมักขยะอินทรีย์แบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.64 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะอินทรีย์

รูปที่ 7.1 การบดเศษอาหารจากครัวเรือนของเทศบาลตำบลโคกกรวดเพื่อนำไปหมักแบบไร้อากาศ

รูปที่ 7.2 บ่อเก็บก๊าซชีวภาพ (ซ้าย) และถังหมักแบบไร้อากาศของโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารตลาดร่มสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รูปที่ 7 การหมักขยะอินทรีย์แบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

7. การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

เชื้อเพลิงขยะผลิตจากองค์ประกอบที่ให้พลังงานความร้อนเช่น พลาสติก กระดาษ เศษผ้า ไม้ ที่ผ่านการคัดแยกด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น การร่อนเพื่อคัดขนาด การตัดเพื่อลดขนาด การแยกเศษเหล็กด้วยแม่เหล็ก การแยกเศษอลูมิเนียม เชื้อเพลิงขยะที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะในเชิงธุรกิจแล้ว เช่น บริษัท เอส ซี ไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด ในเครือบริษัทซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ได้ทำการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะมูลฝอยชุมชนในหลายพื้นที่ ได้แก่ เทศบาลนครพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก (รูปที่ 8.1) ศูนย์กำจัดขยะแบบครบวงจรจากขยะมูลฝอยชุมชน ตำบลบ้านหมอ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดสระบุรี (รูปที่ 8.2) และเทศบาลเมืองพัทลุง อำเภอเมืองพัทลุง จังหวัดพัทลุง (รูปที่ 8.3) โดยนำขยะมูลฝอยทั้งที่รื้อจากหลุมฝังกลบหรือที่เทศบาลเก็บรวบรวมได้ในแต่ละวันมาผ่านกระบวนการคัดแยกและอัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 1 เมตร ก่อนขนส่งไปเข้ากระบวนการ post treatment และใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในหม้อเผาปูนซีเมนต์ของบริษัท หรือกรณีของบริษัท ทีพีไอ โพลีน เพาเวอร์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทย่อยของบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) ที่ทำการผลิตเชื้อเพลิงขยะเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยสามารถรองรับขยะชุมชนได้ประมาณ 5,000 ตันต่อวัน ขยะจากการขุดรื้อหลุมฝังกลบ ประมาณ 3,000 ตันต่อวัน และขยะอุตสาหกรรม (ประเภทขยะทั่วไป) ประมาณ 1,000 ตันต่อวัน โดยขยะมูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่โรงงานผลิตเชื้อเพลิงขยะ

ของบริษัทส่วนใหญ่มาจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดสระบุรี นครราชสีมา ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการ นครปฐม พระนครศรีอยุธยาลพบุรี และชลบุรี เป็นต้น จากข้อมูลค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะมูลฝอยของประเทศไทย ในปี 2546 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) การผลิตเชื้อเพลิงขยะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.48 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะมูลฝอย

รูปที่ 8.1 เทศบาลนครพิษณุโลก

รูปที่ 8.2 ศูนย์กำจัดขยะแบบครบวงจรจากขยะมูลฝอยชุมชน

รูปที่ 8.3 เทศบาลเมืองพัทลุง

รูปที่ 8 การหมักขยะมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกเพื่อให้ได้วัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) ของบริษัท เอส ซี ไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด

8. เตาเผาขยะมูลฝอย (incinerator)

เตาเผาขยะมูลฝอยอาจรับขยะมูลฝอยสดหรือขยะมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยก ลดขนาดมาแล้วมาเผาทำลาย การเผาช่วยลดปริมาตรของขยะมูลฝอย โดยขี้เถ้าซึ่งเหลือจากการเผาไหม้อาจมีปริมาตรประมาณ 10% และน้ำหนักประมาณ 25 ถึง 30% ของขยะมูลฝอยที่ส่งเข้าเตาเผา พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อาจนำมาใช้ในการผลิตไอน้ำ ทำน้ำร้อนหรือผลิตกระแสไฟฟ้า เตาเผาต้องได้รับการออกแบบตามคุณสมบัติของขยะมูลฝอยเพื่อให้สามารถเผาไหม้ได้ดี เนื่องจากการจัดเก็บขยะมูลฝอยในปัจจุบันยังไม่มีการคัดแยกระหว่างขยะเปียกและขยะแห้งทำให้ขยะมูลฝอยมีความชื้นสูงและค่าความร้อนต่ำ นอกจากนี้ หากขยะมูลฝอยมีปริมาณเถ้าสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนของมูลฝอยมีปริมาณน้อยลงทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำกว่าที่ควรซึ่งอาจทำให้เกิดมลพิษอากาศ ซึ่งจะต้องควบคุมปริมาณสารมลพิษในอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยให้เป็นตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย พ.ศ. 2553 ซึ่งสารมลพิษ ประกอบด้วย ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ สารปรอท สารแคดเมี่ยม สารตะกั่ว สารประกอบไดออกซิน กรณีที่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้ง ต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์ จะต้องดำเนินการตามมาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (2559) ส่วนกรณีที่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตติดตั้ง ตั้งแต่ 10 เมกะวัตต์ จะต้องดำเนินการตามมาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามที่ระบุไว้รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปัญหาสำคัญนอกเหนือจากมลพิษอากาศ คือ การจัดการ

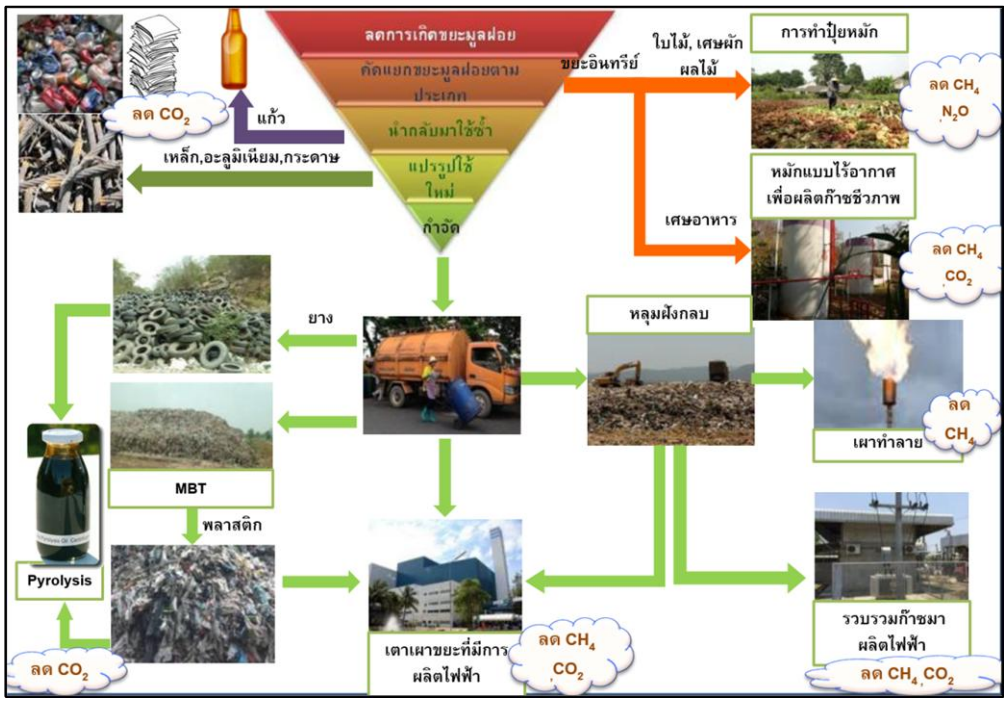
ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะมูลฝอยซึ่งจะต้องฝังกลบในหลุมที่ได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับข้อมูลผลการวิเคราะห์เถ้า เช่น บ่อคอนกรีต หลุมฝังกลบที่มีระบบปูรองกันการรั่วซึม และต้องมีมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ อาจนำขี้เถ้าที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุปูพื้นสำหรับการสร้างถนน ข้อมูล ณ เดือนเมษายน 2560 มีเตาเผาที่ดำเนินการแล้วใน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดภูเก็ต จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และจังหวัดขอนแก่น โดยปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถกำจัดได้ เท่ากับ 700, 250, 500 และ 600 ตัน/วัน ตามลำดับ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าติดตั้งเท่ากับ 12, 6.7, 9.8 และ 6 เมกะวัตต์ ตามลำดับ จากข้อมูลค่าเฉลี่ยองค์ประกอบขยะมูลฝอยของประเทศไทย ในปี 2546 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) การกำจัดขยะมูลฝอยโดยใช้เตาเผาและผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.11 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันขยะมูลฝอย

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวิธีการจัดการขยะมูลฝอยแบบต่าง ๆ สรุปได้ดังตารางที่ 1 ส่วนแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกแบบผสมผสานแสดงดังรูปที่ 9 และตัวอย่างวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยแต่ละวิธีแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ชนิดและแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการจัดการขยะมูลฝอยแต่ละวิธี

วิธีการจัดการ	แหล่งกำเนิด	ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์	ก๊าซมีเทน	ก๊าซไนตรัส-ออกไซด์
การจัดเก็บและขนส่ง	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในรถเก็บขยะมูลฝอย เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		
การคัดแยก	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลของรถตัก เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	✓		
การฝังกลบ	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลของรถตัก รถบด เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	✓		
	การย่อยสลายของขยะอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ		✓	
	การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยไม่มีการรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย		✓	
การหมักทำปุ๋ย	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลของรถตัก เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		

วิธีการจัดการ	แหล่งกำเนิด	ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์	ก๊าซมีเทน	ก๊าซไนตรัส-ออกไซด์
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	✓		
	การหมักทำปุ๋ย		✓	✓
	การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยไม่มีการรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย		✓	
การหมักแบบไร้อากาศ	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลของรถตัก รถบด เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	✓		
	การรั่วไหลของก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพและการระบายก๊าซชีวภาพออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพื่อลดความดันของก๊าซในบ่อ		✓	
	การเผาทำลายก๊าซชีวภาพ		✓	
การผลิตเชื้อเพลิงขยะ	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลของรถตัก เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	✓		
	การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยไม่มีการรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย		✓	
การเผา	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลของรถตัก เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ	✓		
	การใช้พลังงานไฟฟ้า	✓		
	การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยไม่มีการรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย		✓	
	การเผาไหม้ขยะมูลฝอย	✓ (การเผาไหม้พลาสติก)	✓	✓



รูปที่ 9 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอย

แหล่งกำเนิด	วิธีการลดก๊าซเรือนกระจก
การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องยนต์ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น น้ำมันดีเซล	– ลดจำนวนเที่ยวในการขนส่ง – เปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง
การใช้พลังงานไฟฟ้า	ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า
หลุมฝังกลบ	กรณีเป็นหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดใหญ่ ควรมีการรวบรวมก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาใช้ประโยชน์
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	ลดการรั่วไหลจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้วัสดุที่ป้องกันการรั่วไหลของก๊าซได้มากกว่า
การเผาทำลายก๊าซชีวภาพ	ใช้ระบบเผาทำลายที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น กรณีที่มีการเผาทำลายก๊าซชีวภาพเป็นประจำควรใช้ระบบเผาทำลายแบบปิดซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบเผาทำลายแบบเปิด
การหมักทำปุ๋ย	พลิกกลับกอง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายแบบใช้อากาศ
การบำบัดน้ำชะขยะแบบไร้อากาศที่ไม่มีการรวบรวมก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์หรือเผาทำลาย	ติดตั้งระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพและนำไปใช้ประโยชน์โดยผลิตเป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า หรือนำไปเผาทำลาย

เอกสารอ้างอิง

1. CDM EB, Methodological Tool Project and leakage emissions from anaerobic digesters (Version 01.0.0)
2. IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
3. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (2015) Thailand's First Biennial Update Report
4. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2558) รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาศักยภาพของหน่วยงานในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่ง (Transportation Sub-sector) และการจัดการของเสีย (Waste Sector) เล่มที่ 2: ภาคการจัดการของเสีย (Waste Sector) ศึกษาโดย บริษัท จีเอชจีอาร์เอ จำกัด GHGRA (GHG Reduction Advisor)
5. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2560) รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการพัฒนาวิธีประเมินและติดตามการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) ศึกษาโดย บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. ส่วนขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ (2560) รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559
7. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ (2559) แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ. 2559 – 2564)
8. สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (2559) ประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice: CoP) สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิง ที่มีกำลังผลิตติดตั้งต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์
9. เอกสารโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER)
    9.1. บริษัท ท่าเชียงทอง จำกัด (2559) โครงการการรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ท่าเชียงทอง
    9.2. บริษัท ทีพีไอโพลีน เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน) (2559) โครงการการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะมูลฝอยชุมชน ของบริษัท ทีพีไอโพลีน เพาเวอร์ จำกัด (มหาชน)
    9.3. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2559) โครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารตลาดร่มสัก 2559
    9.4. สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (2559) โรงปุ๋ยอินทรีย์จากเศษกิ่งไม้ และใบไม้ กรุงเทพมหานคร
    9.5. องค์การบริหารส่วนจังหวัดสระบุรี (2559) โครงการศูนย์กำจัดขยะแบบครบวงจรจากขยะมูลฝอยชุมชน องค์การบริหารส่วนจังหวัดสระบุรี