การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง: กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

The Study of Biogas Production from Municipality Solid Waste (MSW) in Wet and Dry Anaerobic Digestion Systems: Case Studies in Nakhon-Ratchasima and Sungnoen Municipalities.

วรรษมล ลีลาพิทักษ์

Wadsamon Leelaphitak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง: กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

The Study of Biogas Production from Municipality Solid Waste (MSW) in Wet and Dry Anaerobic Digestion Systems: Case Studies in Nakhon-Ratchasima and Sungnoen Municipalities.

วรรษมล ลีลาพิทักษ์

Wadsamon Leelaphitak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง: กรณีศึกษา เทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

ผู้เขียน นางสาววรรษมล ลีลาพิทักษ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

……..

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา จุติดำรงพันธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……

(ดร.พิรียุตม์ วรรณพฤกษ์)

คณะกรรมการสอบ

……..ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

……กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์)

……...กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรนาฏ คิดดี)

……กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา จุติดำรงพันธ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

…….....

(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา จุติดำรงค์พันธ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาววรรษมล ลีลาพิทักษ์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาววรรษมล ลีลาพิทักษ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง: กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

ผู้เขียน วรรษมล ลีลาพิทักษ์

สาขา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณลักษณะของขยะมูลฝอย และศึกษาประสิทธิภาพและแนวทางปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน ผลการศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 ช่วงเดือนพฤษภาคม 2561 และช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 โดยเฉลี่ยพบว่า เทศบาลนครนครราชสีมามีองค์ประกอบของขยะมูลฝอยอินทรีย์ร้อยละ 47.67 ซึ่งพบมากที่สุด รองลงมาเป็นพลาสติกร้อยละ 30.69 กระดาษร้อยละ 10.79 ตามลำดับ ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน มีองค์ประกอบของขยะมูลฝอยอินทรีย์ร้อยละ 49.21 ซึ่งพบมากที่สุด รองลงมาเป็นพลาสติกร้อยละ 33.79 กระดาษร้อยละ 7.32 ตามลำดับ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยของเทศบาลนครนครราชสีมามีค่าพีเอชประมาณ 8.0 อุณหภูมิมีค่า 31.83 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าร้อยละ 93.08 ค่าความเป็นด่างมีค่า 1,381 มก./ลิตร ค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีค่า 275 มก./ลิตร และเทศบาลตำบลสูงเนินโดยเฉลี่ยมีค่า พีเอชประมาณ 7.5 อุณหภูมิมีค่า 29.83 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าร้อยละ 97.4 ค่าความเป็นด่าง 2,990 มก./ลิตร และค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีค่า 475 มก./ลิตร

จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน พบขยะมูลฝอยอินทรีย์มากที่สุด ซึ่งเหมาะสำหรับวิธีกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ และพบว่าในฤดูฝนมีสัดส่วนขยะมูลฝอยอินทรีย์มากกว่าฤดูอื่นๆ ซึ่งเทศบาลนครนครราชสีมามีปริมาณขยะมูลฝอยมากกว่าเทศบาลตำบลสูงเนิน ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่อยู่ในค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อศึกษาสมดุลมวลของเทศบาลนครนครราชสีมาพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบที่ผลิตได้มีค่า

เท่ากับ 10.71 ลบ.ม. ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนินพบว่า มีปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 2.08 ลบ.ม. การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า เทศบาลนครนครราชสีมามีต้นทุนในการลงทุน และมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่อปีสูงกว่าเทศบาลตำบลสูงเนิน แต่ถ้าเป็นต้นทุนในการลงทุน และค่าใช้จ่ายในเดินระบบต่อตันขยะมูลฝอย พบว่าเทศบาลตำบลสูงเนินมีค่าใช้จ่ายมากกว่า

จากการศึกษาสรุปได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพของเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน ควรพัฒนาระบบคัดแยก และระบบเตรียมวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบให้เหมาะสม พัฒนาถังปฏิกิริยาให้มีความเสถียรและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น รวมถึงควรพัฒนาระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ เพื่อจัดเก็บปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ระบบได้มากขึ้น ส่วนการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมาประกอบด้วย ระบบคัดแยก ระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ระบบผลิตขยะเชื้อเพลิง และระบบฝังกลบ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีชุมชนขนาดกลางที่มีปริมาณขยะมูลฝอย 101-300 ตัน/วัน โดยเทศบาลนครนครราชสีมาปัจจุบันความสามารถในการกำจัดขยะมูลฝอยน้อยกว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้า ซึ่งระบบหมักก๊าซชีวภาพไม่สามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้ทั้งหมด ควรขยายวิธีการกำจัดเพื่อรองรับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในอนาคตจะนำวิธีการเผาเข้ามากำจัดร่วมด้วย ส่วนศูนย์กำจัดขยะ มูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินประกอบด้วย ระบบคัดแยก ระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และระบบฝังกลบ เหมาะสำหรับชุมชนขนาดเล็กที่มีปริมาณขยะมูลฝอย 15-50 ตัน/วัน เทศบาลตำบลสูงเนินมีขยะมูลฝอยเข้าน้อยกว่าที่ระบบออกแบบไว้ ทำให้ไม่มีปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างสะสม ซึ่งปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ปัจจุบันได้กำจัดทิ้ง ควรนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เพื่อลดค่าใช้จ่ายในศูนย์กำจัดและลดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ

Thesis Title The Study of Biogas Production from Municipality Solid Waste (MSW) in Wet and Dry Anaerobic Digestion Systems: Case Studies in Nakhon-Ratchasima and Sungnoen Municipalities

Author Wadsamon Leelaphitak

Major Program Environmental Management

Academic Year 2019

ABTRACT

The objectives of this research are to study the characteristics of the solid waste, the efficiency of biogas production system and the way to improve biogas production of the waste disposal center of Nakhon-Ratchasima and Sungnoen municipalities.

The waste characteristics study was made during November 2560, May 2561 and July 2561 and revealed that in Nakhon-Ratchasima municipality the composition of waste is organic waste 47.67% plastic 30.69% and paper 10.79%.while in Sungnoen municipality is similarly organic waste 49.21%, plastic 33.79% and paper 7.32% by weight

The study were also found that in Nakhon-Ratchasima municipality of which biogas production's reactor is wet system, having relevant parameters such as pH = 8.0, the temperature 31.83 °C, alkalinity 1,381 mg/L, Volatile Fatty Acid 275 mg/L and efficiency of COD treatment = 93.08%, while the process in Sungnoen municipality is dry system having parameters, pH 7.5, temperature 29.83 °C, Alkalinity 2,990 mg/L, Volatile Fatty Acid 475 mg/L and the efficiency of COD treatment = 97.42%.

As organic waste was major composition of waste especially in rainy season, therefore the biogas production process was suitable solution for both municipality. However, the yield of biogas production seemed to be theoretically low as 10.71 m^3 and 2.08 m^3 for Nakhon-Ratchasima municipality and Sungnoen Municipality respectively. In cost analysis, it was found that unit cost of investment and operation of wet system in Nakhon-Ratchasima municipality is higher than the same of Sungnoen municipality.

Problems and obstacles were mainly found are 1) for for Nakhon-Ratchasima municipality, only small portion of organic waste was treated by Biogas production process the left still disposed by landfill, therefore the municipality urgently needs the other solution and plans for Incinerator. 2) Sungnoen municipality, needs to improve the operation and plans to privatize the plant.

In conclusion, To optimized the biogas production system, we have to improve sorting system Raw material preparation system and develop reaction tanks to be more stable and efficient. Beside, we should develop the biogas collection system to store more amount of gas. For waste management in Nakhon-Ratchasima municipality consist of sorting system, anaerobic digestion system, fuel waste production system and landfill systems suitable for medium size community that contains 101-300 tons/day of waste. However, the ability to eliminate was less than the amount of incoming waste, which biogas fermentation system was not able to eliminate. So they tried to combine the incineration method to get rid all of the waste in the future.

For Sungnoen municipality, there was no fuel waste production system, so it was properly for small community that had 15-50 tons/day of waste. In addition Sungnoen had a small amount of waste than the system designed, so they did not have accumulated waste problem and it was better to use biogas to produce the electricity in garbage disposal center for reducing the cost and the pollution caused by the destruction of biogas.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากการได้รับความกรุณา และความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา จุติดำรงพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.พิรียุตม์ วรรณพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคอยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรนาฏ คิดดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำสำหรับปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนเกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่มาตรวจสอบแบบสัมภาษณ์ และให้คำแนะนำอย่างดี รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี และรองศาสตราจารย์ ดร.อุมาพร มุณีแนม ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจเสมอมา จนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานที่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลนครนครราชสีมา และศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลตำบลสูงเนิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล ให้ความช่วยเหลือต่างๆ และการสัมภาษณ์ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. พ.ศ.2559 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2561 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอขอบคุณนางสาวปรีดาพร ธรรมรักษา นางสาวญานิศา ขวัญเกื้อ นางสาวกัญญ์-ลภัสรา กลับคง และนายนรันต์ ณัฏฐารมณ์ ที่ช่วยเหลือตรวจทานวิทยานิพนธ์ และคอยรับฟังให้กำลังใจมาตลอด รวมถึงพี่น้อยพี่แอน พี่ๆ ที่คณะทุกคนที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือ และนายธีรนนท์ แซ่เล่า ที่คอยรับฟังให้คำปรึกษา และช่วยสนับสนุนผู้วิจัยจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณมารดาที่คอยสนับสนุน มอบโอกาสทางการศึกษา และเป็นกำลังใจเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

วรรษมล ลีลาพิทักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
สารบัญตาราง	(14)
สารบัญภาพ	(16)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(18)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ปัญหาและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
2. การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 แผนการการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย	5
2.2 ขยะมูลฝอย	8
2.2.1 ประเภทของขยะมูลฝอย	8
2.2.2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย	9
2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการขยะมูลฝอย	14
2.3.1 เทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการทางความร้อน	15
2.3.1.1 การจัดการขยะมูลฝอยโดยใช้เตาเผา (Incinerator)	15
2.3.1.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย (MSW Gasification)	18
2.3.2 เทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ	18
2.3.2.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	18
2.3.2.2 การผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ	21
2.3.2.3 การหมักทำปุ๋ย	22
2.3.3 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย	28
2.3.4 เทคโนโลยีการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ	30

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ 30
2.3.5 เทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยพลาสติกเป็นน้ำมัน 33
2.3.6 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของขยะมูลฝอย 33
2.4 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) 35
2.4.1 ก๊าซชีวภาพ 40
2.5 การจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา 41
2.5.1 การดำเนินงานระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา 43
2.6 การจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน 47
2.6.1 การดำเนินงานระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน 48
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 52
2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ และปริมาณขยะมูลฝอย 52
2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงาน 54

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการศึกษา 60
3.2 ขั้นตอนการศึกษา 61
3.2.1 การหาองค์ประกอบขยะมูลฝอย 61
3.2.2 การคำนวณความหนาแน่นปกติ 64
3.2.3 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 64
3.2.4 การวิเคราะห์สมดุลมวล (Mass Balance) 68
3.2.5 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ 68
3.2.6 การกำหนดประชากรและการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในการทำแบบสัมภาษณ์ 73
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 76
3.3.1 ลักษณะข้อมูล 76
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 76
3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 76

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 คุณลักษณะของขยะมูลฝอย 78

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 80

4.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 86

4.1.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลนครนครราชสีและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 92

4.1.4 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 95

4.1.5 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 98

4.1.6 เปรียบเทียบปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา 100

4.2 สมดุลมวล 105

4.2.1 สมดุลมวลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลนครนครราชสีมา 105

4.2.2 สมดุลมวลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลตำบลสูงเนิน 108

4.2.3 เปรียบเทียบสมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน 109

4.3 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ 110

4.3.1 ต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการของเทศบาลนครนครราชสีมา 110

4.3.2 ต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการของเทศบาลตำบลสูงเนิน 108

4.3.3 ต้นทุนผลกระทบภายนอก 113

4.3.4 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของโครงการ 115

4.4 ปัญหาและอุปสรรค และแนวทางการแก้ไขปัญหาของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย 117

4.4.1 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน เทศบาลนครนครราชสีมา 117

4.4.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา เทศบาลนครนครราชสีมา 118

4.4.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน เทศบาลตำบลสูงเนิน 118

4.4.4 แนวทางการแก้ไขปัญหา เทศบาลตำบลสูงเนิน 118

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 120

5.2 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย 122

5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำวิจัยในครั้งต่อไป 123

บรรณานุกรม 124

ภาคผนวก 132

ภาคผนวก ก แบบสัมภาษณ์ 133

ภาคผนวก ข ตารางสรุปคะแนนประเมินแบบสัมภาษณ์โดยผู้เชี่ยวชาญ 135

ภาคผนวก ค การแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย 141

ภาคผนวก ง การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์น้ำ 142

ภาคผนวก จ ตัวอย่างผู้ให้สัมภาษณ์ 143

ประวัติผู้เขียน 144

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยในประเทศไทย 13
ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอย 14
ตารางที่ 2-3 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ 20
ตารางที่ 2-4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบ 21
ตารางที่ 2-5 ประเภทของขยะมูลฝอยสำหรับทำปุ๋ยหมัก 25
ตารางที่ 2-6 การคัดแยกขยะมูลฝอย 26
ตารางที่ 2-7 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยและระบบการเผาไหม้ 29
ตารางที่ 2-8 เปรียบเทียบกระบวนการย่อยสลายแบบแห้ง และการย่อยสลายแบบเปียก 36
ตารางที่ 2-9 พารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ 37
ตารางที่ 2-10 ขั้นตอนกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ 40
ตารางที่ 2-11 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่งขยะมูลฝอยมากำจัดในเขตทน.นครราชสีมา 42
ตารางที่ 2-12 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะมูลฝอย 43
ตารางที่ 2-13 ผลผลิตที่ได้จากการกำจัดขยะมูลฝอย 43
ตารางที่ 2-14 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่งขยะมูลฝอยมากำจัดในเขตทต.สูงเนิน 47
ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย 61
ตารางที่ 3-2 หาองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย 63
ตารางที่ 3-3 วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของขยะมูลฝอย 65
ตารางที่ 3-4 ต้นทุนในการเดินระบบและผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลนครนครราชสีมา 69
ตารางที่ 3-6 ต้นทุนการดำเนินระบบและผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลตำบลสูงเนิน 72
ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา เดือนพฤศจิกายน 2560 80
ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา เดือนพฤษภาคม 2561 82
ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา เดือนกรกฎาคม 2561 84
ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน เดือนพฤศจิกายน 2560 86
ตารางที่ 4-5 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ต้นเดือนพฤษภาคม 2561 88
ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 90

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบองค์ประกอบขยะมูลฝอยของทน.นครราชสีมา และเทศสูงเนิน 93

ตารางที่ 4-8 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทน.นครราชสีมา เดือนพฤศจิกายน 2560 95

ตารางที่ 4-9 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทน.นครราชสีมา เดือนพฤษภาคม 2561 96

ตารางที่ 4-10 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทน.นครราชสีมา เดือนกรกฎาคม 2561 97

ตารางที่ 4-11 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทต.สูงเนิน เดือนพฤศจิกายน 2560 98

ตารางที่ 4-12 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทต.สูงเนิน เดือนพฤษภาคม 2561 99

ตารางที่ 4-13 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ทต.สูงเนิน เดือนกรกฎาคม 2561 100

ตารางที่ 4-14 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 102

ตารางที่ 4-15 แสดงต้นทุนในการก่อสร้างระบบของเทศบาลนครนครราชสีมา 111

ตารางที่ 4-16 ต้นทุนในการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา 112

ตารางที่ 4-17 แสดงต้นทุนในการก่อสร้างระบบของเทศบาลตำบลสูงเนิน 113

ตารางที่ 4-18 ต้นทุนในการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน 114

ตารางที่ 4-19 ค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนที่ได้จากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร 111

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 เตาเผาแบบตะกรับ 16
ภาพที่ 2-2 เตาเผาแบบหมุน 17
ภาพที่ 2-3 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด 18
ภาพที่ 2-4 กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ 23
ภาพที่ 2-5 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ 24
ภาพที่ 2-6 การหมักปุ๋ยแบบกองบนลาน (Windrow System) 27
ภาพที่ 2-7 การหมักปุ๋ยแบบอุโมงค์ และการกองสุมขยะมูลฝอยบนอุโมงค์ 28
ภาพที่ 2-8 การตั้งกองขยะมูลฝอยบน Pallets และการคลุมกองด้วยวัสดุธรรมชาติ 31
ภาพที่ 2-9 เครื่องร่อน 31
ภาพที่ 2-10 เตาเผาแบบไพโรไลซิส ลักษณะน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการกลั่น และน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลั่น 33
ภาพที่ 2-11 แผนผังระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา 46
ภาพที่ 2-12 แผนผังระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน 51
ภาพที่ 3-1 จุดเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เทศบาลนครนครราชสีมา 66
ภาพที่ 3-2 จุดเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เทศบาลตำบลสูงเนิน 67
ภาพที่ 4-1 แหล่งที่มาของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรของเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน 79
ภาพที่ 4-2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 82
ภาพที่ 4-3 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤษภาคม 2561 84
ภาพที่ 4-4 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 86
ภาพที่ 4-5 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 88
ภาพที่ 4-6 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2561 90
ภาพที่ 4-7 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 92
ภาพที่ 4-8 สมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีภาพ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลนครนครราชสีมา ประจำปี 2560 106

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-9 สมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีภาพ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลตำบลสูงเนิน ประจำเดือนกรกฎาคม 2558-พฤษภาคม 2559 108

ภาพที่ 6-1 ภาพตัวอย่างแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา 141

ภาพที่ 6-2 ภาพตัวอย่างแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน 141

ภาพที่ 6-3 ภาพตัวอย่างเก็บวิเคราะห์น้ำ เทศบาลนครนครราชสีมา 142

ภาพที่ 6-4 ภาพตัวอย่างเก็บวิเคราะห์น้ำ เทศบาลตำบลสูงเนิน 142

ภาพที่ 6-5 ภาพตัวอย่างผู้ให้สัมภาษณ์เทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน 143

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Total Solids; TS	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมด
Volatile Solids; VS	=	ของแข็งระเหย
Chemical Oxygen Demand; COD	=	ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์
Alkalinity; Alk	=	ความเป็นด่าง
Volatile Fatty Acid; FVA	=	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย
mL	=	มิลลิลิตร
mg	=	มิลลิกรัม
L	=	ลิตร
Refuse Derived Fuel; RDF	=	เชื้อเพลิงขยะมูลฝอย
^{o}C	=	องศาเซลเซียส
%	=	เปอร์เซ็นต์ หรือ ร้อยละ
m^3	=	ลูกบาศก์เมตร (ลบ.ม.)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและความเป็นมาของปัญหา

การจัดการขยะมูลฝอยเป็นปัญหาระดับชาติที่รัฐบาลให้ความสำคัญ จัดเป็นวาระแห่งชาติ มีความจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) ในปัจจุบันการจัดการขยะมูลฝอยได้เปลี่ยนจากการกำจัดที่ปลายทาง ซึ่งเป็นการเผาหรือการฝังกลบ มาจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืนตามลำดับชั้นของการจัดการขยะมูลฝอย (waste management hierarchy) ซึ่งเน้นการลดปริมาณขยะมูลฝอยเป็นอันดับแรก จากนั้นลดการกำจัดขยะมูลฝอย ด้วยการนำขยะมูลฝอยมาใช้ซ้ำและนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ สุดท้ายก็จะแปลงเป็นพลังงาน ก่อนที่จะนำขยะมูลฝอยที่เหลือนำไปกัดจัดอย่างปลอดภัย โดยจะคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (สุจิตรา วาสนาดำรงดี และคณะ, 2558) การคิดค้นเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของขยะมูลฝอยในประเทศไทยนั้น มีความจำเป็นต้องเข้าใจสภาพภูมิอากาศ พฤติกรรมการบริโภคของประชาชนในท้องที่ ความเคยชิน ชีวิตความเป็นอยู่ รูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของท้องถิ่น ลักษณะทางการเมืองการปกครองในท้องที่ ตลอดจนการบริหารจัดการงบประมาณในส่วนใช้จัดการขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้น (ปราณี ไพบูลย์สมบัติ, 2546) ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอย เพื่อให้ได้พลังงานและแปรรูปขยะมูลฝอยในประเทศไทย จำแนกได้ 4 รูปแบบ ดังนี้ 1) เทคโนโลยีที่ใช้ความร้อน ได้แก่ เตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator) และ การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชน (Gasification) 2) เทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion; AD) และการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย (Landfill Gas to Energy) 3) การผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel; RDF) 4) การผลิตน้ำมันจากขยะมูลฝอยพลาสติก (Pyrolysis oil) ซึ่งแต่ละเทศบาลมีโจทย์ในการบริหารจัดการและรูปแบบแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยที่แตกต่างกันตามบริบทพื้นที่ การเลือก คัดสรร พัฒนา และปรับปรุงเทคโนโลยีในกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยให้เหมาะสมกับรูปแบบการสร้างขยะมูลฝอย จึงเป็นโจทย์ที่ผู้วิจัยสนใจสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบัน และมีความจำเป็นต่อการพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศ ซึ่งจะสร้างประโยชน์และช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สนใจการแปรรูปขยะมูลฝอยด้วยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยจากงานวิจัยของ Michiel Gossensen, 2560 ได้ศึกษาแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนที่ใช้ในอัมสเตอร์ดัม ซึ่งพิจารณาเฉพาะขยะมูลฝอยอินทรีย์เท่านั้น

ได้กล่าวว่าการแปรรูปขยะมูลฝอยด้วยการเผาไม่ก่อให้เกิดความยั่งยืน เนื่องจากมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลผลิตของพลังงานค่อนข้างต่ำ ส่วนการฝังกลบมีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นทางเลือกที่ดีที่ใช้ขยะมูลฝอยอินทรีย์มาผลิตพลังงาน ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการแปรรูปขยะมูลฝอยด้วยวิธีนี้ จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และชุมชนพึ่งพาพลังงานจากภายนอกลดลง

โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ เทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งมีระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ตั้งอยู่ตำบลโพธิ์กลาง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สามารถกำจัดขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นข้างเคียง และหน่วยงานอื่นอีก 34 แห่ง (งานวิเคราะห์นโยบาย และแผนกองวิชาการและแผนงาน เทศบาลนครนครราชสีมา, 2559) ซึ่งระบบกำจัดขยะมูลฝอยประกอบด้วย ระบบรับและคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ ระบบย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งใช้ระบบย่อยสลายไม่ใช้อากาศแบบเปียก (Wet Anaerobic Digestion) ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ซึ่งระบบกำจัดขยะมูลฝอยดังกล่าวสามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ถึง 230 ตัน/วัน การเพิ่มของปริมาณขยะมูลฝอยในเทศบาลนครนครราชสีมา เกิดจากการขยายตัวของเขตเมือง และจำนวนประชากรของท้องถิ่นข้างเคียง สอดคล้องกับข้อสรุปของ European Environment Agency, 2003 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นเกินขีดความสามารถของระบบ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงและหาแนวทางในการพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะมูลฝอย

ในส่วนของเทศบาลตำบลสูงเนินซึ่งถูกกำหนดให้เป็นศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ของพื้นที่อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา ตั้งอยู่ที่บ้านปางแต้ หมู่ที่ 13 ตำบลสูงเนิน อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา รองรับขยะมูลฝอยจากเทศบาลตำบลสูงเนิน และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นๆ อีก จำนวน 13 แห่ง (สำนักงานเทศบาลตำบลสูงเนิน, 2559) มีระบบกำจัดขยะมูลฝอยซึ่งประกอบด้วย ระบบรับและคัดแยกขยะอินทรีย์ ระบบย่อยสลายขยะอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และระบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ สำหรับระบบย่อยสลายไม่ใช้อากาศแบบแห้ง (Dry Anaerobic Digestion) มีขนาดรองรับขยะอินทรีย์ประมาณ 50 ตัน/วัน และมีแผนที่จะขยายขีดความสามารถเป็น 100 ตัน/วัน เพื่อให้สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ทั้งอำเภอสูงเนินที่มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก กรณีของอำเภอสูงเนินการเลือกใช้เทคโนโลยีนี้มีความเหมาะสมกับสภาพความเป็นอยู่ของประชาชน ซึ่งทำอาชีพเกษตรกร การคัดแยกขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลสูงเนินประกอบด้วย เครื่องย่อยขยะมูลฝอยแบบเคลื่อนที่ และเครื่องร่อนขยะมูลฝอยแบบอุโมงค์ ส่วนขยะมูลฝอยส่วนเกินกำจัดโดยวิธีฝังกลบแบบสุขาภิบาล

เนื่องจากระบบการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน คุณลักษณะของขยะมูลฝอย และผลผลิตที่คล้ายคลึงกัน จากระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้

อากาศที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ตั้งแต่คุณลักษณะของขยะมูลฝอย สมดุลมวล ปริมาณก๊าซชีวภาพ รวมถึงปัญหาและแนวทางการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน ซึ่งประโยชน์จากการศึกษาครั้งนี้ ทำให้ทราบองค์ประกอบของขยะมูลฝอย และแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยทั้ง 2 เทศบาล เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปใช้ประกอบการพิจารณาวางแผนการกำจัดขยะมูลฝอยได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่เทศบาล และเป็นทางเลือกสำหรับการประเมินโครงการสำหรับการก่อสร้างศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยในท้องถิ่นที่มีบริบทใกล้เคียงกันต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณลักษณะของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน
2. ศึกษาประสิทธิภาพและแนวทางปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้คุณลักษณะของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน
2. ได้ข้อเสนอในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการของระบบย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไร้อากาศ เพื่อพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยต่อไป

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ทำการวิจัยระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกันในกระบวนการหมัก 2 ชนิด ได้แก่ ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบเปียก เป็นศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ตั้งอยู่ที่เทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา และระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้ง เป็นศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ตั้งอยู่ที่เทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งทำการศึกษาปริมาณ และคุณลักษณะของขยะมูลฝอยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยหาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยโดยใช้วิธีการแบ่งกองขยะมูลฝอยเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) นอกจากนี้ยังศึกษาพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าพีเอช, อุณหภูมิ , ความเป็นด่าง , ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD), ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งระเหยง่าย (VS), และ กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ใช้วิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AHPHA, AWWA and WEF, 2012)

และศึกษาสมดุลมวล ต้นทุนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และพัฒนาโครงการการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับทั้ง 2 เทศบาล และเทศบาลอื่นที่มีบริบทคล้ายคลึงกัน

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 แผนการการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย

เมื่อวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ.2557 คณะรักษาความสงบแห่งชาติ ได้เห็นชอบแผนการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย เสนอโดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แผนการจัดการขยะมูลฝอย (Roadmap) ซึ่ง พิรียุตม์ วรรณพฤกษ์, (2558) ได้อธิบายไว้ดังนี้

แผนการการจัดการขยะมูลฝอย คือ การจัดการขยะมูลฝอยตกค้างสะสมที่เสี่ยงที่ก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรง มีการจัดพื้นที่เพื่อก่อสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอยให้มีความเหมาะสม และลดการเทกอง รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากพลังงานขยะมูลฝอย สุดท้ายคือการให้เอกชนมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอยของท้องถิ่น แต่การจะให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วม ท้องถิ่นต้องเข้ามากำกับดูแลเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชน รวมถึงเอกชนเองก็มีผลตอบแทนที่เหมาะสม การนำแผนการการจัดการขยะมูลฝอยมาใช้แก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยของท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ได้นั้น ท้องถิ่นจะต้องเสริมองค์ความรู้และทักษะในการทำงาน รวมถึงวิเคราะห์และเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นด้วย

แต่เดิมประเทศไทยได้จัดทำแผนการจัดการขยะมูลฝอยตั้งแต่ปี 2534 อยู่ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 ซึ่งได้กำหนดเป้าหมายไว้ 4 ด้าน คือ 1.ลดอัตราการผลิตขยะมูลฝอยในกรุงเทพฯ และเมืองหลักให้น้อยกว่า 0.8 กก./คน/วัน 2.จัดเก็บและกำจัดกากของเสียอันตรายและไม่อันตราย ให้ถูกหลักวิชาการ 3.จัดการกากของเสียอันตรายให้ถูกวิธีและครบวงจร และ 4.ลดการใช้สารอันตรายในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ตั้งแต่การกำหนดนโยบายและเป้าหมายครั้งแรกจนถึงปัจจุบัน ปัญหาขยะมูลฝอยไม่มีแนวโน้มลดจำนวนลง แต่กลับมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น จนได้มีแผนการการจัดการขยะมูลฝอยซึ่งมุ่งเน้นแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ และความรุนแรงของปัญหา ที่สอดรับกับสถานการณ์บ้านเมืองที่เกิดขึ้น ซึ่งได้แบ่งพื้นที่และกรอบเวลาการทำงานตามความรุนแรงของปัญหา

และผลกระทบที่เกิดได้ 3 ช่วงเวลา คือ 1.ระยะเร่งด่วน (ภายใน 6 เดือน) โดยจะลงมือดำเนินการทันที เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณขยะมูลฝอยสะสมจำนวนมาก และส่งผลกระทบอย่างรุนแรง 2.ระยะกลาง (ภายใน 1 ปี) เป็นพื้นที่ที่มีขยะมูลฝอยปริมาณมาก ความเร่งด่วนในการกำจัดถัดมาจากระยะแรก 3. ระยะยาว เป็นพื้นที่ที่เหลือจากการแก้ปัญหาใน 2 ช่วงแรก

เป้าหมายของแผนการการจัดการขยะมูลฝอยคือ การแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยที่ตกค้างสะสมเป็นเวลานาน อีกทั้งยังกำหนดให้ปิดสถานกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ได้ดำเนินการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ (NO DUMP SITE) แต่หากสถานกำจัดเหล่านั้นยังรองรับขยะมูลฝอยต่อจะต้องฟื้นฟูและปรับปรุงให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งการปรับปรุงหรือก่อสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอยขึ้นมาใหม่เน้นการนำขยะมูลฝอยมาผลิตพลังงานซึ่งจะต้องคำนึงถึงขนาดของโครงการให้เหมาะสมกับการลงทุนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และสุดท้ายแผนการการจัดการขยะมูลฝอยได้สนับสนุนให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุนและเดินระบบเพื่อกำจัดขยะมูลฝอยของท้องถิ่น

การจัดการปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างสะสม ส่วนใหญ่ปัญหาจะมาจากการเก็บขนขยะมูลฝอย ซึ่งขยะมูลฝอยตกค้าง หมายถึงขยะมูลฝอยที่เหลืออยู่ในถังรองรับหลังจากการเก็บขนตามรอบ ต้องรอการเก็บขนใหม่ในรอบหรือวันถัดไป สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการตกค้างของขยะมูลฝอยมี 2 ประการ ได้แก่ 1. ประชาชนทิ้งขยะมูลฝอยไม่เป็นเวลา ซึ่งส่วนใหญ่จะเคยชินการทิ้งขยะมูลฝอยในช่วงเช้า ไม่สอดคล้องกับช่วงเวลาการจัดเก็บโดยท้องถิ่นมักจะทำการจัดเก็บในช่วงเวลากลางคืนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านจราจร 2. ปัญหาจากรถเก็บขยะมูลฝอยไม่เพียงพอ ทำให้มีขยะมูลฝอยตกค้างสะสมรอเก็บขนจำนวนมาก ส่วนขยะมูลฝอยตกค้างจากการกำจัดบริเวณสถานที่กำจัดนั้น เกิดจากการไม่กำจัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งมักเป็นการเทกองหรือเผากลางแจ้ง เมื่อปริมาณขยะมูลฝอยเกินขีดความสามารถของระบบก็จะทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมาเช่น กลิ่นไม่พึงประสงค์ น้ำชะขยะมูลฝอย แหล่งที่อยู่ของสัตว์นำโรค รวมไปถึงความเสี่ยงที่จะเกิดไฟไหม้บริเวณกองขยะมูลฝอย ขั้นตอนในการแก้ปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างสะสมเริ่มจากการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างสะสม จากนั้นประเมินสถานที่กำจัดแห่งนั้นว่าควรปิด ปรับปรุง หรือฟื้นฟูให้เป็นระบบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป ในกรณีที่รอปรับปรุง ฟื้นฟู ให้นำขยะมูลฝอยตกค้างสะสมไปกำจัดยังสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยอื่น ส่วนสถานกำจัดขยะมูลฝอยของเอกชน หากพบว่าดำเนินงานไม่ถูกต้องให้ใช้กฎหมายบังคับเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง

การแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงานเป็นเป้าหมายสำคัญสำหรับท้องถิ่นขนาดใหญ่ ซึ่งมีความสำคัญต่อการจัดการขยะมูลฝอย 2 ลักษณะ คือ เป็นกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอย และนำขยะมูลฝอยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงาน (Energy Recovery) โดยขยะมูลฝอยจำพวก เศษไม้ เศษกระดาษ และเศษพลาสติก ยังมีศักยภาพด้านพลังงานหลงเหลืออยู่ในแผนการการจัดการขยะมูลฝอย ได้แบ่งการแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงาน 2 ลักษณะ คือ การแปรรูปเป็นพลังงานโดนตรง คือการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า และการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

การแบ่งขนาดของโครงการเพื่อการแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงานแบ่งเป็น 3 ขนาดด้วยกัน ได้แก่ 1.ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยรวมของท้องถิ่นที่มีขนาดใหญ่ (Model L) มีปริมาณขยะมูลฝอยมากกว่า 300 ตัน/วัน ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีกระบวนการความร้อน (Thermal Process) 2.ท้องถิ่นขนาดกลาง (Model M) จะต้องมีปริมาณขยะมูลฝอยรวมกันไม่เกิน 300 ตัน/วัน รูปแบบนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เช่นกัน แต่ต้องใช้เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ไบโอก๊าซ โดยจะใช้เฉพาะขยะมูลฝอยอินทรีย์เท่านั้น ขยะมูลฝอยส่วนอื่นที่มีค่าความร้อนเหมาะสมกับการเผาไหม้ได้ ท้องถิ่นอาจต้องมีกระบวนการจัดการ เพื่อคัดแยกขยะมูลฝอยส่วนนี้ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่นที่มีความต้องการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย 3.ท้องถิ่นขนาดเล็ก (Model S) มีปริมาณขยะมูลฝอยรวมไม่เกิน 50 ตัน/วัน ซึ่งท้องถิ่นขนาดเล็กควรเน้นการคัดแยกและใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยที่ต้นทาง เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบ ประโยชน์จากการคัดแยกขยะมูลฝอย สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้จากเศษอาหาร เศษผักผลไม้ กิ่งไม้ ส่วนขยะมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้ก็รวบรวมเพื่อนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยได้เช่นกัน

แผนการจัดการขยะมูลฝอยได้ให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยที่ต้นทาง คือการลดและคัดแยกขยะมูลฝอย รวมถึงการเก็บค่าธรรมเนียมในการจัดการขยะมูลฝอย นอกจากนี้การจัดระบบบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศแต่เดิมไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร จึงได้มีการสนับสนุนให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุนระบบกำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการแก้ไขปัญหาการจัดสรรงบประมาณสำหรับการก่อสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอยแก่ท้องถิ่น ประกอบกับพระราชบัญญัติว่าด้วยการให้เอกชนร่วมลงทุนในกิจการของรัฐ พ.ศ.2556 ทำให้การเข้าร่วมลงทุนของเอกชนมีกรอบเวลาชัดเจนขึ้น ซึ่งในช่วงเดือนตุลาคม 2562-มีนาคม 2563 ขยะมูลฝอยทั่ว

ประเทศมีปริมาณ 62,619.24 ตัน/วัน โดยขยะมูลฝอยที่เกิดสามารถกำจัดอย่างถูกต้องได้ปริมาณ 52,356.51 ตัน/วัน คิดเป็นร้อยละ 83.61 จากขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) แสดงให้เห็นว่าปัจจุบันแนวโน้มการจัดการขยะมูลฝอยดีขึ้นกว่าแต่ก่อน

2.2 ขยะมูลฝอย

2.2.1 ประเภทของขยะมูลฝอย สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท (หัทญา เนตยารักษ์, 2559) ได้แก่

1. ขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ (Compostable waste) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่เน่าเสียและสามารถย่อยสลายได้รวดเร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ ได้แก่ เศษผักผลไม้ เศษอาหาร กิ่งไม้ เป็นต้น ไม่รวมเศษหรือชิ้นส่วนของพืช ผัก ผลไม้ และสัตว์ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยขยะมูลฝอยย่อยสลายได้นี้เป็นขยะมูลฝอยที่พบมากที่สุด

2. ขยะมูลฝอยรีไซเคิล (Recyclable waste) หมายถึง บรรจุภัณฑ์ หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ ได้แก่ แก้ว กระดาษ เศษพลาสติก กล่องเครื่องดื่ม กระป๋องอะลูมิเนียม ชิ้นส่วนโลหะ ยางรถยนต์ เป็นต้น สำหรับขยะมูลฝอยรีไซเคิลที่พบมากเป็นอันดับสองในกองขยะมูลฝอย

3. ขยะมูลฝอยอันตราย (Hazardous waste) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่ส่วนองค์ประกอบมีการปนเปื้อนสารอันตรายชนิดต่างๆ ได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกรรมมันตรังสี วัตถุที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง รวมไปถึงวัตถุอื่นๆ ได้แก่ เคมีภัณฑ์หรือสิ่งที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาชนะที่ใส่สารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์ เป็นต้น ขยะมูลฝอยอันตรายนี้เป็นขยะมูลฝอยที่มักจะพบได้น้อยที่สุด

4. ขยะมูลฝอยทั่วไป (General waste) หมายถึง ขยะมูลฝอยประเภทอื่นที่นอกเหนือจากขยะมูลฝอยย่อยสลายได้ ขยะมูลฝอยรีไซเคิล และขยะมูลฝอยอันตราย โดยเป็นขยะ มูลฝอยที่ย่อยสลายยาก และไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ห่อพลาสติกใส่ขนมต่างๆ ถุงพลาสติกบรรจุผงซักฟอก โฟม และฟอล์ย ที่มีการปนเปื้อนอาหาร เป็นต้น สำหรับขยะมูลฝอยทั่วไปนี้เป็นขยะมูลฝอยที่มีปริมาณใกล้เคียงกับขยะมูลฝอยอันตราย

2.2.2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยซึ่ง อาณัติ ต๊ะปินตา, (2553) แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ องค์ประกอบทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และองค์ประกอบทางชีวภาพ สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.2.1 องค์ประกอบทางกายภาพ

1. ส่วนประกอบของขยะมูลฝอย เป็นการแยกตามประเภทของขยะมูลฝอยด้วยสายตา และแยกสัดส่วนของขยะมูลฝอยแต่ละชนิดด้วยน้ำหนักหรือร้อยละ

2. ความหนาแน่น คืออัตราส่วน คือ อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งแบ่งความหนาแน่นได้เป็น 2 ประเภท คือ 1. ความหนาแน่นปกติ เป็นความหนาแน่นที่ไม่มีการบีบอัดกระแทก สามารถวัดได้จากการชั่งขยะมูลฝอยที่บรรจุเต็มถังที่มีขนาด 50 ลิตร และ 2.ความหนาแน่นขณะขนส่ง เป็นความหนาแน่นของขยะมูลฝอยในรถเก็บขยะมูลฝอยที่ทำการขนส่ง จะมีความหนาแน่นมากกว่าเพราะมีการสั่นสะเทือน และการบีบอัดด้วยเครื่องไฮดรอริคในขณะที่เทขยะมูลฝอยลงกระบะรถ

3.ความชื้นคือ น้ำหนักของขยะมูลฝอยส่วนที่หายไปหลังจากนำขยะมูลฝอยไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100–105 องศาเซลเซียส ซึ่งนำมาเทียบกับน้ำหนักขยะมูลฝอยก่อนนำไปอบ หน่วยที่ได้เป็นร้อยละ

4.การยอมให้น้ำซึมผ่าน คือ ขยะมูลฝอยไม่ว่าจะอยู่ในสภาพถูกบีบอัด หรือสภาพทั่วไป น้ำหรือมลสารก็สามารถซึมผ่านได้มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติดังกล่าว ซึ่งหากขยะมูลฝอยมีคุณสมบัติที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ จะส่งผลให้มีโอกาสที่น้ำชะขยะมูลฝอยจะซึมลงดินได้มากเช่นกัน

2.2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. ของแข็งระเหยได้คือ น้ำหนักของขยะมูลฝอยส่วนที่หายไปเมื่อนำขยะมูลฝอยไปเผาที่อุณหภูมิ 600–950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. ขี้เถ้า เป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้

3. ค่าความร้อน หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงระหว่างขยะมูลฝอย และออกซิเจน หน่วยบีทียูต่อปอนด์

4. องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม คาร์บอน ไฮโดรเจน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีจะช่วยในการเลือกวิธีที่ใช้จัดการขยะมูลฝอยต่อไป

5. สารพิษที่เกิดจากขยะมูลฝอยเช่น โลหะหนัก ใช้สำหรับประเมินขอบเขตความรุนแรงของการปนเปื้อนของเสียอันตรายที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อหาแนวทางในการจัดการ

2.2.2.3 องค์ประกอบทางชีวภาพ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในกองของขยะมูลฝอย อาทิ แบคทีเรีย รา และไวรัส ซึ่งจุลินทรีย์บางชนิดอาจก่อให้เกิดโรค บางชนิดช่วยในการย่อยสลายขยะมูลฝอย ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวภาพควรระมัดระวัง และคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้วิเคราะห์ด้วย เพราะอาจจะติดโรคได้

2. สารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต พบมากในขยะมูลฝอยประเภท พืชผัก ผลไม้ ใบไม้ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายขยะมูลฝอย

3. ลิกนิน และเซลลูโลสในธรรมชาติ พบมากในขยะมูลฝอยประเภทเศษกระดาษ สิ่งทอ ขนสัตว์ เศษอาหารบางชนิด ซึ่งสารเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ดีนัก

2.2.2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย สามารถแบ่งได้ 10 ประเภท กรมควบคุมมลพิษ, (2562) ดังนี้

1. เศษอาหารและอินทรีย์สาร

เศษอาหารเป็นองค์ประกอบที่ย่อยสลายได้เร็ว และเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ แหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค แหล่งกำเนิดหลักมาจากบ้านเรือน ขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหารเป็นองค์ประกอบหลัก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร ผัก ผลไม้ มูลสัตว์ กิ่งไม้ เป็นต้น

2. กระดาษ

ขยะมูลฝอยประเภทได้เป็นเศษกระดาษที่ใช้แล้ว ได้แก่ หนังสือพิมพ์ นิตยสาร กระดาษลัง กระดาษแข็ง กระดาษที่เป็นกล่องนม กล่องน้ำ และกระดาษสำนักงาน เนื่องจากกระดาษผลิตมาจากต้นไม้ จึงจำเป็นต้องนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดการตัดไม้ และลดการใช้พลังงานและลดของเสียจากการผลิตสู่สิ่งแวดล้อม

3. พลาสติก

พลาสติกส่วนใหญ่สังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เนื่องจากพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ผลิตได้ในปริมาณมากในเวลาจำกัด น้ำหนักเบา มีความทนทานต่อสารเคมีไม่

ผุกร่อน ทำให้สามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้มากมาย ซึ่งพลาสติกที่พบในขยะมูลฝอยชุมชนสามารถจำแนกได้ 7 ชนิด ดังนี้

1) พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate; PET)

2) พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE)

3) พลาสติกชนิดโพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride; PVC)

4) พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low dendity polyethylene; LDPE)

5) พลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP)

6) พลาสติกชนิดโพลิสไตรีน (Polystyrene; PS)

7) พลาสติกอื่นๆ

พลาสติกมีอายุการใช้งานสั้น แต่มีความทนทานสูง ซึ่งพลาสติกที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มีอายุการใช้งานน้อยกว่า 2 ปี ส่งผลให้ขยะมูลฝอยประเภทนี้มีจำนวนสูงขึ้น นอกจากพลาสติกทั้ง 7 ชนิด ยังมีพลาสติกชนิดโพลิสไตรีน (PS) หรือ โฟม สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ Expandable Polystyrene, EPS ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกต่างๆ ในการบรรจุสินค้าจำพวกเครื่องใช้ฟ้าฟ้า และหมวกกันน็อก นอกจากนี้ยังใช้เป็นแผ่นฉนวนหรือผนังห้องเย็น กล่องรักษาความเย็น เป็นต้น และ Polystyrene Paper; PSP ใช้ทำภาชนะ หรือกล่องบรรจุอาหาร

4. แก้ว

แก้วเกิดจากการหลอมละลายจากทราย เถ้า โซดา หินปูน และแร่เฟลสปาร์ ให้เป็นรูปร่างและสีสันต่างๆ ได้ มักผลิตแก้วมาเพื่อเป็นภาชนะใส่อาหาร เครื่องดื่ม เป็นต้น ซึ่งแก้วไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ จึงค่อนข้างปลอดภัย ซึ่งแก้วจัดเป็นขยะมูลฝอยที่ไม่ย่อยสลาย แต่เดิมเครื่องดื่มในท้องตลาดนิยมใช้ขวดแก้ว จะมีระบบ ใช้แล้วคืนขวด เพื่อนำกลับมาล้างแล้วใช้ใหม่ แต่ปัจจุบันมีการใช้ขวดแบบใช้แล้วทิ้งเพิ่มมากขึ้น เช่น เครื่องดื่มชูกำลัง ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยประเภทแก้วเพิ่มขึ้น

5. โลหะ

โลหะที่พบในกองขยะมูลฝอยได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว เป็นต้น ซึ่งบางประเภทก็มีการซื้อขายกัน ได้แก่ อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของโลหะ ซึ่งนำไปใช้สร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อลูมิเนียม มีน้ำหนักเบา อ่อนตัว นิยมนำมาผลิตเป็นกระป๋องบรรจุเครื่องดื่มต่างๆ หรือภาชนะเครื่องครัว เป็นต้น

6. ไม้

ขยะมูลฝอยประเภทไม้ เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากไม้ ฟาง หญ้า ได้แก่ กล่องไม้ โต๊ะ เก้าอี้ เฟอร์นิเจอร์ เตียง เป็นต้น

7. ยางหรือหนัง

ขยะมูลฝอยประเภทยางหรือหนัง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางหรือหนัง เช่น รองเท้า ลูกบอล กระเป๋าหนัง ล้อรถ ยางรัดของ เป็นต้น

8. ผ้า

ขยะมูลฝอยประเภทผ้า เป็นสิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ฝ้าย ลินิน ผ้าไนลอน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ได้แก่ ด้าย เสื้อผ้า ถุงเท้า เป็นต้น

9. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน

ขยะมูลฝอยประเภทของเสียอันตราย หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบหรือได้รับการปนเปื้อนวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุกัดกร่อน วัตถุสิ่งอื่นใดที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่สิ่งมีชีวิต หรือสิ่งแวดล้อม ของเสียอันตรายจากบ้านเรือนที่พบได้แก่ ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ แบตเตอร์รี่ กระป๋องบรรจุสารเคมีหรือยาฆ่าแมลง กระป๋องน้ำมันเครื่อง เป็นต้น

10. อื่นๆ ที่ไม่สามารถแยกประเภทได้

ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ หมายถึงสิ่งของที่เสื่อมสภาพ ของที่ใช้งานแล้วและไม่เป็นที่ต้องการ เช่น ผ้าอ้อมสำเร็จรูป ผ้าอนามัย กระดาษชำระ เป็นต้น

ขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีองค์ประกอบค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งพบว่ามีเศษอาหารเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมา คือ พลาสติก และกระดาษ ซึ่งข้อมูลขององค์ประกอบขยะมูลฝอยสามารถนำไปวางแผนเพื่อออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอยให้เหมาะสมกับวิธีที่จะใช้กำจัดได้ แสดงได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยในประเทศไทย

องค์ประกอบของขยะมูลฝอย	**ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก (%)**
เศษอาหาร	51.93
กระดาษ	8.70
พลาสติก	13.67
ยาง	2.97
หนัง	1.96
เศษผ้า, สิ่งทอ	1.60
ใบไม้ เศษกิ่งไม้	5.65
แก้ว	4.34
หิน	1.34
โลหะ	3.68
และอื่นๆ (ฝุ่น ขี้เถ้า)	4.19
รวม	100.00

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, (2559)

องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยที่เป็นธาตุหลัก ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และเถ้า จากตารางที่ 2-2 พบว่าองค์ประกอบหลักของอินทรีย์สาร คือ คาร์บอน และไฮโดรเจน ซึ่งขยะมูลฝอยมีสมบัติเป็นชีวมวลสามารถนำไปผลิตพลังงานได้ ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้สำหรับเลือกวิธีและออกแบบการกำจัดขยะมูลฝอย เช่น ใช้คำนวณค่าความร้อนของขยะมูลฝอยด้วยสูตรของดูลอง (Dulong Formula) หาสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน และปริมาณสารอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการหมัก สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอย

องค์ประกอบของขยะมูลฝอย	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง (%)						
	C	H	O	N	S	Ash	Total
เศษอาหาร	48.0	6.4	32.6	2.6	0.4	10.0	100.0
กระดาษ	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0	100.0
กระดาษลัง	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0	100.0
พลาสติก	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0	100.0
เศษผ้า, สิ่งทอ	55.0	6.6	31.2	4.6	0.1	2.5	100.0
ยาง	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0	100.0
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0	100.0
ใบไม้ เศษหญ้า	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5	100.0
เศษไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5	100.0
แก้ว	0.5	0.1	0.4	0.1	-	98.9	100.0
อลูมิเนียม	4.8	0.6	4.5	0.1	-	90.0	100.0
โลหะ	4.8	0.6	4.5	0.1	-	90.0	100.0
ขยะมูลฝอยอันตราย	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0	100.0
และอื่นๆ (ฝุ่น ขี้เถ้า)	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0	100.0

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, (2559)

2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการขยะมูลฝอย

วิธีการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อการแปรรูปและผลิตเป็นพลังงานแต่ละแบบมีความแตกต่างกันตามความเหมาะสมของพื้นที่ สภาพทางเศรษฐกิจ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัด ความพร้อมของหน่วยงานและบุคลากร เป็นต้น การเลือกวิธีกำจัดที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อได้วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่สามารถผลิตพลังงานได้และไม่สามารถผลิตพลังงานได้ แบ่งได้ 3 รูปแบบ ดังนี้ 1) เทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการทางความร้อน ได้แก่ เตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator) และ การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชน (Gasification) 2) เทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ การผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย (Landfill Gas to Energy) และการทำปุ๋ยหมัก

(Composting) 3) การผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel; RDF) 4) เทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยพลาสติกเป็นน้ำมัน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 เทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการทางความร้อน

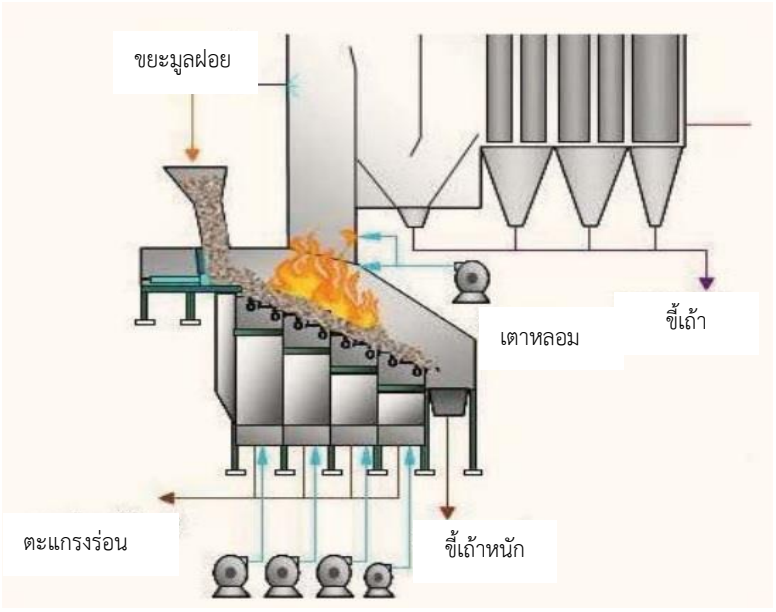
2.3.1.1 การจัดการขยะมูลฝอยโดยใช้เตาเผา (Incinerator)

เตาเผาขยะมูลฝอย (Incinerator) ต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่นำมากำจัด โดยคำนึงถึงอัตราของความชื้น ค่าความร้อนที่แปรผันได้ รวมถึงการออกแบบที่ดีต้องควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาให้ได้ 850–1,200 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีที่สุด แต่การเผาไหม้มักปลดปล่อยสารมลพิษทางอากาศออกมา ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfer dioxide; SO_2) และไดออกซิน (Dioxins) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ดังนั้นหากใช้วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีการเผาไหม้ ต้องออกแบบระบบควบคุมมลพิษทางอากาศที่ดีด้วย และอากาศที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศจากเตาเผาต้องมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กฎหมายกำหนด สิ่งที่ได้จากการเผาไหม้ได้แก่ ขี้เถ้าคิดเป็นร้อยละ 10 โดยขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปฝังกลบ และสามารถแปรรูปเป็นตะกรัน เพื่อนำไปผสมกับซีเมนต์ ซึ่งใช้ผลิตเป็นอิฐบล็อกและปูพื้นสำหรับการสร้างถนนได้ นอกจากนี้ ขี้เถ้าที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบก็สามารถทำมาใช้ใหม่ได้ ความร้อนจากกระบวนการเผาไหม้สามารถผลิตไอน้ำ หรือกระแสไฟฟ้า โดยการเผาไหม้ขยะมูลฝอยแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่นำขยะมูลฝอยไปเผาทำลายโดยไม่มีการจัดการขยะมูลฝอยเบื้องต้น เรียกว่า ระบบการเผาไหม้มวล (Mass Burn System) เช่น รถเก็บขยะมูลฝอยนำขยะมูลฝอยที่เก็บจากบ้านเรือนเป็นถุงดำนำเข้าเตาเผาทันที แต่ข้อเสียของวิธีนี้หากขยะมูลฝอยมีความชื้นสูงอาจเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ภายในเตา จึงจำเป็นที่ต้องใช้เชื้อเพลิงช่วย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจัดการสูง และอีกระบบเป็นระบบที่มีการจัดการเบื้องต้นก่อนเผาทำลายขยะมูลฝอย (Burning of Preheated and Homogenized Waste) ซึ่งเทคโนโลยีที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้ (ชาญชัย ทองโสภา, 2558)

1. เทคโนโลยีการเผาแบบตะกรับเคลื่อนที่ได้ (Moving grate)

เทคโนโลยีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ออกแบบโดยใช้ตะกรับในการเคลื่อนที่ลำเลียงขยะมูลฝอยจากต้นทางไปจนถึงปลายทาง โดยอาศัยก้ามปูทำหน้าที่ป้อนขยะมูลฝอยสู่เตาเผา ขยะมูลฝอยเคลื่อนที่ลงไปตามแรงโน้มถ่วงเพื่อลงไปสู่ตะกรับ ความร้อนในเตาช่วยให้ความชื้นในขยะมูลฝอยลดลง พร้อมกับมีการเผาไหม้ขยะมูลฝอยบนตะกรับแบบเคลื่อนที่นี้ด้วย การออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้การเคลื่อนที่และการผสมของขยะมูลฝอยมีประสิทธิภาพอากาศสามารถเข้าสู่ขยะมูลฝอยได้อย่างทั่วถึง ดังภาพที่ 2-1

ข้อดีของเตาเผาแบบตะกรับเคลื่อนที่ได้คือ ไม่ต้องคัดแยกขยะมูลฝอย สามารถจัดการขยะมูลฝอยที่มีค่าความร้อนไม่คงที่ได้ดี สามารถเผาขยะมูลฝอยได้ถึง 50 ตัน/ชั่วโมง ข้อเสีย คือ เงินลงทุนและการบำรุงรักษามีค่าใช้จ่ายสูง (วันชลี เพ็งพงศา, 2551)



ภาพที่ 2-1 รูปเตาเผาแบบตะกรับ
ที่มา : ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, (2554)

2. เทคโนโลยีการใช้เตาเผาแบบหมุน (Rotary Incinerator)

เทคโนโลยีเตาเผาแบบหมุน เป็นเตาเผาที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3–6 เมตร ความยาวของเตาเผา 10–230 เมตร สามารถหมุนได้ โดยขยะมูลฝอยจะเคลื่อนที่ตามผนังของเตาเผาที่ทำมุมเอียง มุมที่ใช้ในการหมุนที่เหมาะสมอยู่ที่ 2-3 องศา ผนังโดยส่วนใหญ่เป็นอิฐทนไฟ ใช้อากาศส่วนเกินมากกว่าเตาเผาแบบตะกรับ มีการต่อเติมห้องเผาไหม้หลัง (After-burning chamber) เพื่อแก้ปัญหาก๊าซไอเสีย เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นสั้น ดังภาพที่ 2-2

การใช้อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้มีปริมาณมากกว่าเตาเผาแบบตะกรับ และอาจมากกว่าเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วย ส่งผลให้เตาเผาแบบหมุนนี้มีประสิทธิภาพของพลังงานที่ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย แต่มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซไอเสียในเตาเผาสั้น จึงจำเป็นต้องต่อเติมห้องเผาไหม้หลัง (After-Burning Chamber) และในส่วนของหม้อน้ำด้วย ข้อดีของเตาเผาแบบหมุนคือ ไม่ต้องมีการคัดแยก หรือลดขนาดขยะ

มูลฝอยก่อน แต่เตาเผาแบบหมุนเผาขยะมูลฝอยได้น้อยกว่าแบบตะกรับ ซึ่งเผาได้เพียง 20 ตัน/ชั่วโมง ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึง (ณัฐรัตน์ ฉัตรวิบูลกุล, 2560)

ภาพที่ 2-2 เตาเผาขยะมูลฝอยแบบหมุน
ที่มา : http://www.thaitechno.net/t1/productdetails.php?id=606&uid=2756

3. เทคโนโลยีเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เทคโนโลยีนี้จะเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นสารเฉื่อยที่มีอนุภาคเป็นของแข็ง เช่น เถ้าถ่านหิน หรือทรายที่ถูกทำให้ร้อนแล้ว เมื่อมีการไหลของอากาศขึ้นไปด้วยความเร็วสูง จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่คล้ายกับของไหล ทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าอย่างทั่วถึง เชื้อเพลิงที่กระจายไปทั่วเบดจะเผาไหมอย่างรวดเร็ว โดยจะมีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 750-900 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันการหลอมของสารเฉื่อย และมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 95 ขึ้นไป สามารถใช้ผลิตไอน้ำในอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้าได้

ข้อดีของเทคโนโลยีนี้คือ สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูง สามารถทำได้ง่าย และราคาถูก (บูรณะศักดิ์ มาดหมาย, 2552) ดังภาพที่ 2-3

ภาพที่ 2-3 เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด
ที่มา : http://www.fledged.eu/ibc-csic-bubbling-fluidized-bed-facility-operation/

2.3.1.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย (MSW Gasification)

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย (MSW Gasification) หรือเทคโนโลยี ไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification) เทคโนโลยีนี้ทำให้ขยะมูลฝอยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซโดยการทำปฏิกิริยาสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขยะมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในปริมาณที่จำกัด ส่งผลให้เกิดก๊าซที่มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ซึ่งเรียกก๊าซเรานี้ว่า Produce Gas กรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา จะทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

2.3.2 เทคโนโลยีโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ

2.3.2.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

เทคโนโลยีการย่อยสลายขยะมูลฝอยแบบไม่ใช้อากาศ มีหลักการเหมือนกับการบำบัดน้ำเสีย แต่เนื่องจากขยะมูลฝอยชุมชนมีลักษณะเป็นของแข็งที่มีขนาดใหญ่ และแห้งกว่าน้ำเสีย ดังนั้นการย่อยสลายขยะมูลฝอยจึงมีขั้นตอนที่มากกว่าน้ำเสีย โดยมีการบดและลดขนาดของขยะ

มูลฝอยอินทรีย์ก่อนนำไปย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งการย่อยสลายขยะมูลฝอยชุมชนแบบไม่ใช้อากาศมีขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอน ดังนี้ (ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ, 2559)

1) การบำบัดขยะมูลฝอยขั้นต้น (Front-end Treatment) เป็นการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยอื่นๆ เพื่อทำให้เกิดความสม่ำเสมอของขยะมูลฝอยอินทรีย์ก่อนการป้อนเข้าสู่ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ รวมถึงการลดขนาดของขยะมูลฝอยอินทรีย์เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย อีกทั้งยังป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบ การบำบัดขั้นต้นสามารถแบ่งได้ 2 แบบ 1. กระบวนการคัดแยกแบบแห้ง (Dry Separation Process) ส่วนใหญ่ใช้จะแกรงร่อนแบบหมุน (Rotary Screen) ในการคัดแยกขยะมูลฝอย และใช้เครื่องบด (Shredder) ในการบดเพื่อลดขนาดของขยะมูลฝอยให้เหมาะสม 2.กระบวนการคัดแยกแบบเปียก (Wet Separation Process) ใช้วิธีการลอย–จม (Sink-Float Separatiom) ในการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยอื่นๆ โดยใช้ Pulper เป็นอุปกรณ์สำคัญในการคัดแยกและบดขยะมูลฝอยอินทรีย์

2) การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ ทำให้ขยะมูลฝอยอินทรีย์ย่อยสลายกลายเป็นอินทรียวัตถุ มีความคงตัว ไม่มีกลิ่น และปราศจากเชื้อโรค

3) การบำบัดขั้นหลัง (Back–end Treatment) เป็นขั้นตอนการจัดการกับกากตะกอนที่ได้จากการย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์มีสมบูรณ์ขึ้น ด้วยการใช้การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ การฆ่าเชื้อโรค และคัดแยกเพื่อกำจัดสิ่งปะปนหลังจากการปรับสภาพดิน จากนั้นควบคุมความชื้นของสารปรับสภาพดิน และปรับปรุงคุณภาพของสารปรับสภาพดินให้เหมาะสมสำหรับใช้ในการเพาะปลูก

พลังงานที่ได้จากขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่ได้ขึ้นกับองค์ประกอบ และคุณภาพของขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ทำการป้อนเข้าสู่ระบบ ส่วนปริมาณของก๊าซที่ได้ ต้องขึ้นกับปริมาณของขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading) ซึ่งโดยปกติการผลิตก๊าซชีวภาพ 50–200 ลบ.ม./ตันขยะมูลฝอยอินทรีย์ (น้ำหนักเปียก) หรือประมาณ 200–600 ลบ.ม./ตันขยะมูลฝอยอินทรีย์ (น้ำหนักแห้ง) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์ประมาณ 20–25 เมกะจูล/ลบ.ม. ข้อดีคือ ก๊าซชีวภาพที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติที่ได้จากการขุดเจาะ แต่นอกเหนือจากก๊าซมีเทนก๊าซธรรมชาติยังมีก๊าซชนิดอื่นปะปนมาด้วย ได้แก่ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น บิวเทน (Butane) อีเทน (Etane) และโปรเพน (Propane) ซึ่งทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูง มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย อย่างไรก็ตามการนำก๊าซชีวภาพไปใช้จะต้องกำจัดก๊าซ

ส่วนเกิน ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบฮาโลเจนก่อน โดยสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ ได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติและก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	ก๊าซธรรมชาติ	ก๊าซชีวภาพ
Lower Calorific Value	MJ/m^3	36.14	21.48
Density	Kg/m^3	0.82	1.21
Maximum Velocity	m/s	0.39	0.25
Theory Air Requirement	m^3air/m^3gas	9.53	5.71
Max. CO_2-conc. In Stack Gas	%Vol	11.9	17.8
Dew Point	°C	59	60–160

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2563

หลักการในการควบคุมคุณภาพขยะมูลฝอยอินทรีย์ และการใช้ประโยชน์จากสิ่งที่เหลือจากการย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศสามารถสรุปได้ ดังนี้

- ส่งเสริมการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ตั้งแต่แหล่งกำเนิด ไม่นำขยะมูลฝอยอันตราย หรือขยะมูลฝอยติดเชื้อเข้าสู่ระบบ
- สุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ขยะมูลฝอยอินทรีย์ก่อนเข้าสู่ระบบเป็นระยะ
- หากต้องการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยชนิดอื่นๆ ควรมีการออกแบบการเดินระบบการบำบัดขยะมูลฝอยขั้นต้นให้เหมาะสม
- ควบคุมปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการกักพัก ให้เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์ เพื่อทำให้ขยะมูลฝอยอินทรีย์คงสภาพ
- มีการฆ่าเชื้อโรค กำจัดจุลินทรีย์อย่างเหมาะสม
- ใช้หลักการเกษตรเหมาะสมเพื่อนำสารปรับสภาพดินที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก

หากสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนข้างต้น จะสามารถได้ทั้งพลังงานจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ และสารปรับสภาพดินมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอีกด้วย

2.3.2.2 การผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas to Energy Technology)

การกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบ คือ การนำขยะมูลฝอยมูลฝอยชุมชนฝังกลบในพื้นที่ที่เตรียมไว้ โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายของขยะมูลฝอยอินทรีย์ในช่วงแรกเป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Decomposition) อากาศที่ใช้เป็นอากาศที่แทรกอยู่บริเวณช่องว่างภายในหลุมฝังกลบ หลักจากที่ใช้ออกซิเจนจนหมดจะเปลี่ยนเป็นการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ก๊าซที่เกิดขึ้น ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไนโตรเจน โดยเราเรียกก๊าซเหล่านี้ว่า ก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์พบได้มากที่สุด หากก๊าซชีวภาพที่ได้มีมีเทนมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป สามารถใช่ในการผลิตความร้อนได้โดยตรงในรูปของ ก๊าซดิบ (Raw Gas) โดยค่าความร้อนที่ได้จะมีค่าปานกลาง หากต้องการให้ค่าความร้อนสูงขึ้น ต้องนำไปปรับปรุงคุณภาพของก๊าซก่อนนำไปใช้ นอกจากผลิตพลังงานความร้อนแล้ว สามารถนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซ (Gas Engine) กังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (Boiler) ซึ่งปัจจุบันมีการนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาใช้มากขึ้น (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2563) โดยมีปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ และระบายออกจากพื้นที่ฝังกลบ ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบ

ปัจจัยพื้นฐาน	มูลเหตุ
องค์ประกอบของขยะมูลฝอย (Waste Composition)	ก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในขยะมูลฝอย ดังนั้นหากมีปริมาณสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยมาก ก็จะทำให้เกิดการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย จากการประมาณของ Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC เมื่อปี 1992 พบว่า พื้นที่ฝังกลบ และพื้นที่เทกองทั่วโลก มีปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมาประมาณ 20-70 เทระกรัมต่อปี
สภาพแวดล้อมแบบไร้อากาศ (Anaerobic Environment)	สภาพแวดล้อมแบบไร้อากาศ เกิดจากการกลบทับกันของชั้นขยะมูลฝอยด้วยวัสดุกลับทับ (Cover Materail) จนทำให้เกิดสภาพแวดล้อมดังกล่าว
ความชื้น (Moisture Content)	กระบวนการเมทาโบลิซึมของแบคทีเรียหรือการสร้างเซลล์ต้องอาศัยน้ำเพื่อเป็นตัวกลาง สื่อกลางในการลำเลียงอาหาร โดยความชื้นในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของขยะ

ตารางที่ 2-4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบ (ต่อ)

ปัจจัยพื้นฐาน	มูลเหตุ
ความชื้น (Moisture Content) (ต่อ)	มูลฝอยที่นำมาฝังกลบ ปริมาณของน้ำที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ และปริมาณของน้ำที่ซึมจากผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน
สภาพความเป็นกรด	การดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่อยู่ในหลุมฝังกลบไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช โดยค่าพีเอช ที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 6.8–7.2 หากค่าพีเอช มีค่าน้อยกว่า 6.5 จะทำให้อัตราของการผลิตก๊าซมีเทนลดลง
อุณหภูมิ (Temperature)	อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทนจากกลุ่มแบคทีเรีย โดยอุณหภูมิในในช่วงร้อยละ 50–60 จะมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด แต่แบคทีเรียสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ตั้งแต่ร้อยละ 10–60 โดยปกติแล้วในพื้นที่ฝังกลบมีความร้อนเพียงพอที่ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมีเทน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน, (2554)

การจัดหาสถานที่ในการฝังกลบขยะมูลฝอยนั้นมักมีปัญหามาจากการต่อต้านของชุมชนใกล้เคียง เนื่องจากประชาชนติดกับภาพลักษณ์เก่าๆ ของการทิ้งกองขยะมูลฝอยกลางแจ้งที่ส่งผลกระทบต่างๆ เช่น กลิ่นรบกวน เป็นแหล่งรวมของสัตว์นำโรคต่างๆ และมีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ยังมีการก่อสร้างหลุมฝังกลบ แต่ไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณโดยใช่เหตุ ดังนั้นการเลือกสถานที่สำหรับการฝังกลบจึงมีความจำเป็นอย่างมาก (ธเรศ ศรีสถิตย์, 2557)

2.3.2.3 การหมักทำปุ๋ย (Composting Method)

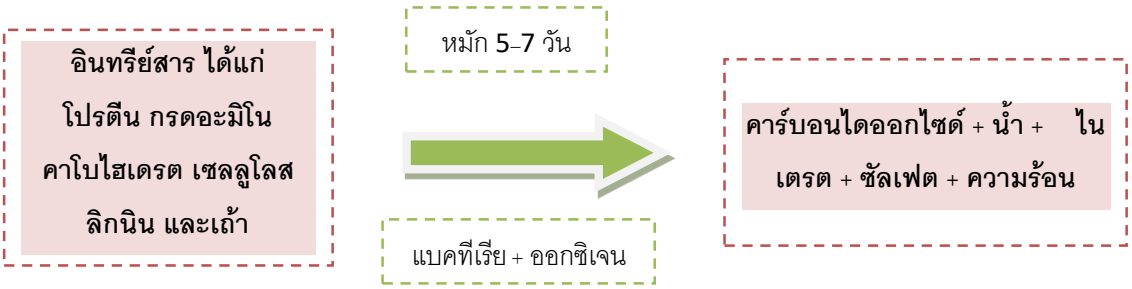
การจัดการขยะมูลฝอยด้วยการนำไปหมักทำปุ๋ย ขยะมูลฝอยที่สามารถนำไปทำปุ๋ยหมักได้นั้นเป็นพวกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น เศษผักผลไม้ เป็นต้น โดยทำการแยกขยะมูลฝอยติดเชื้อ ขยะมูลฝอยอันตรายออกไปเสียก่อน ขยะมูลฝอยที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายสามารถใช้เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรได้ โดยการนำขยะมูลฝอยอินทรีย์ไปรวมไว้ แล้วปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ปัญหาหลักของการใช้วิธีนี้คือ การแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ออกจากขยะมูลฝอยประเภทอื่น นอกจากนี้ขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่นำมากองรวมไว้อาจเกิดการเน่าเสีย

ทำให้ส่งกลิ่นรบกวน และอาจก่อให้แหล่งน้ำใกล้เคียงเกิดการเน่าเสียได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพื้นที่ที่เหมาะสม

ปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย หมายถึง กระบวนการย่อยสลายของวัสดุ หรือสารอินทรีย์ที่ได้จากขยะมูลฝอย ด้วยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์จนทำให้มีลักษณะที่ค่อนข้างคงรูป สีดำ ค่อนข้างแห้ง สามารถใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพของดินได้ โดยกระบวนการย่อยสลายสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Decomposition) และ กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Decomposition) ดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

1) กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Decomposition)

เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ดำรงชีพได้ในสภาวะมีออกซิเจน เมื่อจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้รับสารอาหารแล้วส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้น ผลผลิตที่ได้คือแร่ธาตุ กระบวนการนี้มีข้อดีคือ ไม่มีก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น และคุณสมบัติของปุ๋ยดี มีองค์ประกอบของไนเตรต และซัลเฟต ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ
ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2552

2) กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Decomposition)

เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ดำรงชีพได้ในสภาวะไร้อากาศ เมื่อจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารแล้วเกิดการเจริญเติบโตขึ้น ทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศทำให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไข่เน่า (H_2S) และแอมโมเนีย (NH_3) คุณสมบัติไม่ดีเท่ากระบวนการย่อยแบบใช้อากาศ และใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่า อีกทั้งคุณภาพของปุ๋ยที่ได้ค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้คุณภาพของปุ๋ยหมักยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของของเสียที่นำมาผลิตปุ๋ยด้วย (Themelis, 2002) ดังภาพที่ 2-5

ภาพที่ 2-5 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ
ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2552

แต่การทำปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์นั้น อาจมีเชื้อโรคจำพวก *Selmonella* และ *E. coli* ปะปนอยู่ ซึ่งมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม แต่จากการศึกษาของ Pramod K. Pandeya (2016) พบว่า ระบบ Lagoon ที่มีการเติมอากาศเข้าไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคเมื่อเทียบกับระบบ Lagoon ที่ไม่ได้เติมอากาศ และระบบการย่อยแบบไม่ใช้อากาศในระบบที่ไม่เติมอากาศยังพบ *E. coli* ที่ระยะเวลาเกิน 60 วันของการบ่ม แต่ระบบเติมอากาศนั้น *E. coli* ถูกกำจัดในช่วง 30–35 วัน ส่วนเชื้อโรค *Selmonella* ในระบบไม่เติมอากาศจะถูกกำจัดในช่วง 30–35 วัน แต่ระบบเติมอากาศจะถูกกำจัดในช่วง 4–12 วัน เท่านั้น ดังนั้นการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคได้ดีกว่า เพราะใช้เวลาน้อยกว่า

องค์ประกอบที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย โดยปกติแล้วขยะมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับหมักทำปุ๋ย จะต้องมีคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสม ควรมีการเลือกประเภทของขยะมูลฝอย ดังตารางที่ 2-5 และคัดแยกขยะมูลฝอยที่ไม่สามารถหมักทำปุ๋ยได้ออก โดยลักษณะของขยะมูลฝอยที่เหมาะสม มีดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

องค์ประกอบของอินทรีย์สารมากกว่าร้อยละ 40
คาร์บอน : ไนโตรเจน ในขยะมูลฝอยมีอัตราส่วนประมาณ 30–35 : 1
คาร์บอน : ฟอสฟอรัส ในขยะมูลฝอยมีอัตราส่วนประมาณ 75–150 : 1
ขนาดของขยะมูลฝอยประมา 0.5–1.5 นิ้ว
ความชื้นของขยะมูลฝอยประมาณร้อยละ 50–60
อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 45-65 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2-5 ประเภทของขยะมูลฝอยสำหรับทำปุ๋ยหมัก

ขยะมูลฝอยที่มีสีน้ำตาล (คาร์บอนสูง มักเป็นขยะมูลฝอยแห้ง)	ขยะมูลฝอยที่มีสีเขียว (ไนโตรเจนสูง มักเป็นขยะมูลฝอยเปียก)	ขยะมูลฝอยที่ไม่เหมาะสม
- หญ้า และใบไม้แห้ง	- หญ้า ดอกไม้ และใบไม้สด	- กระดูก
- ฟาง	- เศษอาหาร	- น้ำมันสำหรับทำอาหาร
- เศษไม้กิ่งไม้	- ผัก เปลือกผลไม้	- ผลิตภัณฑ์อาหารนม
- กระดาษ	- ถุงชา กากกาแฟ	- พืช ต้นไม้ปนเปื้อนสารพิษ
- ขี้เลื่อย และเปลือกไม้	- เปลือกไข่	- มูลสุนัขและแมว
		- กระดาษอาบมัน
		- วัชพืชที่มีเมล็ด

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, (2552)

3) การทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยในชุมชนขนาดเล็กและมีพื้นที่ห่างไกล

ข้อดีสำหรับการทำปุ๋ยหมักในชุมชน สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องทำไปกำจัดได้ถึงร้อยละ 50 สามารถลดการเน่าเสียจากเศษอาหาร พืชผักในสถานกำจัด นอกจากนี้ยังแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นวัสดุคล้ายดินที่มีสีดำ โดยทั่วไปเรียกว่า ปุ๋ยหมัก ใช้เป็นสารบำรุงดิน (Soil Conditioner) ได้ ถึงแม้อาจมีแร่ธาตุต่ำกว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด แต่สารบำรุงดินนี้สามารถช่วยปรับสภาพดินให้มีความพรุน และเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้เช่นกัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

1. การคัดแยกขยะมูลฝอย

การคัดแยกจากแหล่งกำเนิดจัดเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการคัดแยก สามารถลดการปนเปื้อนได้ดี หากไม่สามารถคัดแยกจากแหล่งกำเนิดได้ วิธีรองลงมาคือ การคัดแยกจากจุดที่ทำการหมักโดยใช้แรงคน หรือเครื่องจักร ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การคัดแยกขยะมูลฝอย

วิธีการ	การดำเนินการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
คัดแยกจากจุดทิ้งขยะมูลฝอย	- จัดให้มีถุงใส่ขยะมูลฝอย 2 ถัง สำหรับการแยกเศษอาหารออกจากขยะมูลฝอยอื่นๆ - ควรแยกน้ำออกจากเศษอาหาร - ควรแยก น้ำมัน นม หรือไขมัน ออกจากถัง - ถังที่ทิ้งเศษอาหารต้องนำไปหมักทุกวัน	- ลดการปนเปื้อน - ย่อยสลายเกิดได้ง่ายขึ้น - ได้ปุ๋ยคุณภาพดี	- จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือของประชาชน - จัดรถเก็บขยะมูลฝอยสำหรับเศษอาหาร และต้องทำการเก็บเศษอาหารทุกวัน เนื่องจากเศษอาหารอาจเน่าเสียส่งกลิ่น และเป็นแหล่งรวมสัตว์พาหะต่างๆ
คัดแยกจากจุดที่ทำการหมักด้วยแรงคน	- จัดพื้นที่สำหรับแยกขยะมูลฝอย โดยต้องสามารถกันฝนได้ - นำขยะมูลฝอยที่ได้มาคัดแยกเศษอาหารออกด้วยแรงงานคน แล้วนำไปหมักทำปุ๋ย	- สามารถทำการคัดแยกขยะมูลฝอยได้ในชุมชน - เพิ่มรายได้จากการนำขยะมูลฝอยที่สามารถรีไซเคิลได้ไปจำหน่าย	- อาศัยแรงงานจากคนในการคัดแยกขยะมูลฝอย และต้องจัดหางบประมาณในการจ้างคน ซึ่งคุณภาพของเศษอาหารไม่ดีเท่าการคัดแยกจากจุดทิ้ง
คัดแยกจากจุดที่หมักด้วยเครื่องจักร	- คัดแยกจากจุดที่หมักด้วยเครื่องจักร - รถเก็บขยะมูลฝอยทำการถ่ายเทขยะมูลฝอยไปยังบ่อรับขยะมูลฝอย	- เพิ่มรายได้จากการนำขยะมูลฝอยที่ - เพิ่มรายได้จากการนำขยะมูลฝอยที่สามารถรีไซเคิลได้ไปขาย	- ต้นทุนในการก่อสร้างสูง - อาศัยงบประมาณในจัดจ้างแรงงาน การเดินระบบ และการดูแลระบบ

ตารางที่ 2-6 การคัดแยกขยะมูลฝอย (ต่อ)

วิธีการ	การดำเนินการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
คัดแยกจากจุดที่หมักด้วยเครื่องจักร (ต่อ)	-นำขยะมูลฝอยผ่านสายลำเลียง ใช้แรงคนหรือ	- ไม่ต้องคัดแยกในชุมชนก็สามารถดำเนินการได้	

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552

2. การลดขนาดของขยะมูลฝอย

ขนาดเป็นปัจจัยที่สามารถทำให้เกิดการย่อยสลาย โดยขนาดเหมาะสมอยู่ประมาณ 0.5–1.5 นิ้ว ขั้นตอนการลดขนาดอาจให้ประชาชนลดตั้งแต่การแยก หรือใช้เครื่องย่อยขยะมูลฝอย และตะแกรงร่อน

4) การทำปุ๋ยแบบใช้อากาศอย่างง่าย

1. การหมักปุ๋ยแบบกองยาวบนพื้นราบ (Windrow System)

จัดหาพื้นที่ที่เพียงพอต่อการพลิกกลับ โดยนำขยะมูลฝอยที่คัดผ่านการคัดแยกมาเทกองบนพื้นราบ ความสูงของกองปุ๋ยหมักต้องเหมาะสมสำหรับการพลิกกลับโดยใช้จอบหรือพลั่ว 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ ความชื้นอยู่ร้อยละ 50-60 เพื่อให้เกิดการระบายอากาศทั่วถึงทั้งกอง ซึ่งออกซิเจนจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย และป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นจากการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (โสพส แซ่ลิ้ม, 2559) ข้อดี เป็นวิธีที่ง่าย ต้นทุนต่ำ ขยะมูลฝอยมีปริมาณน้อย ดังภาพที่ 2-6

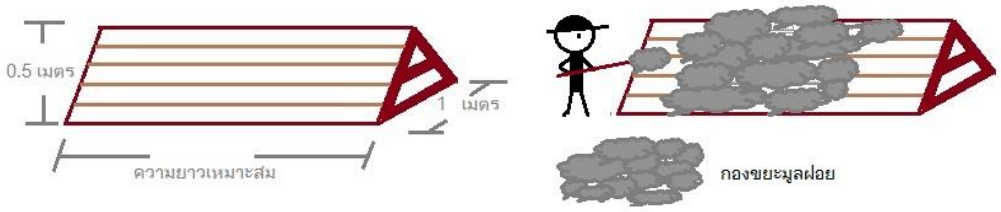
ภาพที่ 2-6 การหมักปุ๋ยแบบกองบนลาน (Windrow System)

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2552

2. การหมักปุ๋ยแบบอุโมงค์อากาศ (Static system)

ทำโดยการนำเศษอาหารที่ได้มาสุมบนฐานที่สร้างมาจากท่อเจาะรู ไม้ระแนงที่วางเป็นชั้น หรือเศษไม้ไผ่เจาะรู โดยมีลักษณะคล้ายอุโมงค์ ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทภายใน

กองปุ๋ยหมัก เกิดการระบายได้ดี วิธีนี้เหมาะกับขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากกว่าการหมักแบบกองบนลาน ข้อดี ไม่ต้องพลิกกลับกองแบบวิธีแรก เนื่องจากมีการถ่ายเทอากาศภายใต้กองปุ๋ยหมักทำให้ลดกลิ่นรบกวนจากการหมักแบบไร้อากาศได้ แต่มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 การหมักปุ๋ยแบบอุโมงค์ และการกองสุมขยะมูลฝอยบนอุโมงค์
ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2552

ขั้นตอนการหมักขยะมูลฝอยด้วย 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น อันดับแรกต้องศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่ ปริมาณของขยะมูลฝอยที่ต้องการหมักทำปุ๋ย เมื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมได้แล้วต้องทำการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมประมาณ 45–65 องศาเซลเซียส การวัดอุณหภูมิทำได้โดยการเสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปกลางกองปุ๋ยหมักหลายจุด จากนั้นนำค่าอุณหภูมิที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย หากมีค่าเกินกว่า 65 องศาเซลเซียส ให้ทำการกลับกองปุ๋ยหมักทันที ในส่วนของการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักจะทำทุก 4–5 วัน เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับกองปุ๋ยหมัก หากพบว่ากองปุ๋ยหมักแห้ง ให้พรมน้ำลงไปเพื่อเพิ่มความชื้น และสุดท้ายขยะมูลฝอยที่หมักสมบูรณ์แล้วให้ดูที่สี โดยปุ๋ยที่ได้จะมีลักษณะละเอียดร่วน มีกลิ่นคล้ายดิน และมีสีดำหรือคล้ำขึ้น อุณหภูมิควรอยู่ประมาณ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการหมักขึ้นกับองค์ประกอบของขยะมูลฝอยโดยปกติจะอยู่ในช่วง 4–5 สัปดาห์ หากปุ๋ยหมักมีลักษณะดังที่กล่าวมาให้ทำการหมักต่ออีก 2 สัปดาห์ จากนั้นสามารถนำปุ๋ยที่หมักจากขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม

2.3.3 เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel : RDF)

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยมักเปลี่ยนไปตามความเป็นอยู่ในชุมชนหรือฤดูกาล ซึ่งการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอย เพื่อใช้ในการเผาไหม้โดยตรงมักเกิดปัญหาในการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงาน เพราะค่าความร้อนของขยะมูลฝอยต่ำ ปริมาณเถ้า และความชื้อที่สูง ดังนั้นการแปรรูปขยะมูลฝอยเหล่านี้โดยผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีให้เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย (Refuse Derived Fuel; RDF) ซึ่งเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย คือ ขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการต่างๆ อาทิ การคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ได้ การฉีก ตัดเป็นชิ้น

เล็กๆ ทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูงขึ้น ข้อดีคือ เมื่อมีการจัดการที่เหมาะสมแล้วจะทำให้เชื้อเพลิงขยะมูลฝอยมีค่าความร้อนที่สูง ง่ายต่อการจัดเก็บ ขนส่ง รวมไปถึงการจัดการต่างๆ โดยเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย สามารถแบ่งได้เป็น 7 ชนิด ขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการ โดยแบ่งตามมาตรฐานของ ASTM E-75 ได้ดังตารางที่ 2-7 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

ตารางที่ 2-7 คุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบเผาไหม้
RDF 1 : MSW	ทำการคัดแยกขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ และขยะมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ด้วยมือ	Stoker
RDF 2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยให้มีลักษณะหยาบๆ	FBC, MFC
RDF 3 : Fluff RDF	ทำการคัดแยกขยะมูลฝอยส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ออก เช่น โลหะแก้ว และอื่นๆ บดหรือตัดจน 95 เปอร์เซ็นต์ของขยะมูลฝอยมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4 : Dust RDF	นำขยะมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้ ผ่านกระบวนการจนอยู่ในรูปของผงฝุ่น	FBC, PF
RDF 5 : Densified RDF	นำขยะมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้ผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยมีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3	FBC, MFC
RDF 6 : RDF Slurry	นำขยะมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้ผ่านกระบวนการ เพื่อให้อยู่ในรูป Slurry	Swirl burner
RDF 7 : RDF Syngas	นำขยะมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้ผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas	Burner, IGCC

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน, 2554

ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย สามารถใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่นๆ ได้ เช่น ถ่านหิน หรือชีวมวลในกระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซนำไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตปูนซีเมนต์ ใช้ในสถานที่แปร

รูปขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยหรือมีการขนส่ง โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น

2.3.4 เทคโนโลยีการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล–ชีวภาพ (Mechanical and Biological Waste Treatment: MBT)

การบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล–ชีวภาพ เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยให้เหลือปริมาณขยะมูลฝอยน้อยที่สุดก่อนนำไปฝังกลบ โดยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายนั้น ไม่สามารถทำงาน หรืออาศัยอยู่ได้ ซึ่งส่งผลให้ลดการเกิดก๊าซมีเทน และน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ ข้อดี คือ ขยะมูลฝอยที่ได้สามารถบดอัดได้และความหนาแน่นสูง ช่วยลดปริมาของขยะมูลฝอยก่อนนำไปฝังกลบ สามารถยืดอายุของหลุมฝังกลบให้ใช้งานได้นานขึ้น และลดการเกิดมลพิษที่อาจเกิดจากหลุมฝังกลบ (สมชาย และคณะ, 2552 อ้างถึงใน The Faber-Ambra Concept, 1998)

2.3.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล–ชีวภาพ

การบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล–ชีวภาพ เป็นการผสมผสานกันระหว่างการบำบัดด้วยระบบเชิงกล (Mechanical) การบำบัดด้วยระบบชีวภาพ (Biological) และการบำบัดด้วยระบบความร้อน (Thermal) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) การบำบัดด้วยระบบเชิงกล (Mechanical) ขั้นที่ 1 ขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญมากของระบบ โดยทำการคัดแยกขยะมูลฝอยอันตราย ได้แก่ แบตเตอรี่ สเปรย์ ถ่ายไฟฉาย ยางล้อรถ เป็นต้น ขยะมูลฝอยอันตรายที่กล่าวไปข้างต้นอาจส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย จากนั้นจะทำการแยกขยะมูลฝอยรีไซเคิลโดยใช้แรงงานคน เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอย นำขยะมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกมาย่อยหยาบและบด ทำให้ถุงพลาสติกที่บรรจุขยะมูลฝอยเกิดการฉีกขาด ความชื้นที่อยู่ในขยะมูลฝอย และจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์การกระจายได้อย่างทั่วถึง

2) การบำบัดด้วยระบบชีวภาพ (Biological) ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ โดยเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างอากาศ และน้ำ ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานความร้อน ดังสมการ

$$(CHONS) + O_2 + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{พลังงานความร้อน}$$

ทฤษฎีของ Faber-Ambra กล่าวว่า กองขยะมูลฝอยที่จัดการด้วยวิธีเชิงกล–ชีวภาพ มีขนาด 25–30 เมตร ความสูง 1.8 เมตร ตั้งกองบน Pallets ที่มีท่อระบายอากาศอยู่ด้านบน Pallets โดยเว้นระยะห่าง 4 เมตร และโค้งบริเวณกลางกองขยะมูลฝอยเพื่อทำการเติมอากาศ

หลังจากตั้งกองขยะมูลฝอยเสร็จแล้วจะนำวัสดุธรรมชาติ เช่น กากมะพร้าว ใช้สำหรับปิดกองหมัก โดยมีความหนา 20.0–40.0 ซม. ดังภาพที่ 2-8

ภาพที่ 2-8 การตั้งกองขยะมูลฝอยบน Pallets และการคลุมกองขยะมูลฝอยด้วยวัสดุธรรมชาติ
ที่มา: สมชาย และคณะ, 2552

3. การบำบัดด้วยระบบเชิงกล (Mechanical) ขั้นที่ 2 เป็นการนำขยะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบชีวภาพนำไปร่อนได้ 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 10 มม.) ขนาดกลาง (10–40 มม.) และขนาดใหญ่ (มากกว่า 40 มม.) โดยขยะมูลฝอยขนาดใหญ่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยได้ ดังภาพที่ 2-9

ภาพที่ 2-9 เครื่องร่อน
ที่มา: https://www.ryokusanasia.com/Drum_Drive/5eaa499c80913f0012aedbf9

สรุปข้อดีของการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีเชิงกล–ชีวภาพ

- ลดปัญหากลิ่นเหม็นจากหลุมฝังกลบ

- ลดการเกิดน้ำชะขยะมูลฝอย
- ลดการเกิดก๊าซมีเทน
- ยืดอายุการใช้งานของหลุมฝังกลบ
- เทคโนโลยีนี้ไม่มีความซับซ้อน
- สามารถบดอัดขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบได้มากขึ้น ช่วยลดการทรุดตัวของบ่อฝังกลบ

จากการศึกษาของ Edo-Alcon, Gallardo และ Mendoza (2016) พบว่า เทคโนโลยีบำบัดเชิงกลชีวภาพ นิยมใช้สำหรับขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการคัดแยก ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถจัดการสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพให้คงที่ และยังสามารถแยกขยะมูลฝอยที่รีไซเคิลออกมาได้ แต่โดยทั่วไปขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการคัดแยกมักนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบ ซึ่งเทคโนโลยีบำบัดเชิงกลชีวภาพมีขั้นตอนการบำบัดที่หลากหลาย

นอกจากนี้งานวิจัยของ Dias และคณะ. (2015) พบว่า แก้วเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่ชาวยุโรปพิจารณาว่าเป็นตัวเลือกที่ดีที่ถึงร้อยละ 75 เพราะมีความปลอดภัยต่อสุขภาพ สามารถรีไซเคิลได้ร้อยละ 100 และแก้วได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (the American government US Food & Drug Administration: FDA) ว่าปลอดภัย เพราะมันไม่มีรูพรุน ทำให้ในขยะมูลฝอยชุมชนพบขยะมูลฝอยจำพวกแก้วได้มาก งานวิจัยปัจจุบันจึงมีการแก้ปัญหาการคัดแยกแก้วออกโดยใช้เครื่องจักร และระบบบำบัดด้วยชีวภาพ ซึ่งเป็นเป้าหมายของการรีไซเคิลจากขยะมูลฝอยชุมชน การคัดแยกวัสดุที่มีความเฉื่อยของระบบเชิงกลชีวภาพมีลักษณะที่โดดเด่น คือสามารถคัดแยกอนุภาคขนาดเล็ก และมีความหลากหลายสูง การศึกษานี้ ได้ทำการศึกษาตัวอย่างจริง 3 ตัวอย่าง ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยสำรวจ MBT ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างแรก มีปริมาณสารอินทรีย์สูงถึงร้อยละ 50 และมีอนุภาคเล็กกว่า 16 มม. ตัวอย่างที่ 2 และ 3 มีลักษณะหยาบ และขนาดของอนุภาคใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างที่ 2 มีแก้วประมาณร้อยละ 70 และตัวอย่างที่ 3 มีแก้วประมาณร้อยละ 40 โดยตอนแรกของระบบจะทำการอบแห้งเพื่อขจัดความชื้นที่มากับสารอินทรีย์ จากนั้นใช้แม่เหล็กเพื่อแยกเหล็กออก และกำจัดวัตถุติดไฟออกโดยใช้การดูดด้วยสุญญากาศ จากนั้นก็ทำการคัดกรองส่วนต่างๆ แยกตามขนาดแบ่งได้ 3 ขนาดดังนี้ มากกว่า 6 มม., 6–16 มม. และมากกว่า 16 มม. โรงงานนำร่องที่ถูกสร้างขึ้น และการทดสอบได้ดำเนินการทั้ง 3 ตัวอย่าง จากผลการศึกษาพบว่า แต่ละกระบวนการคัดแยกเป็นสิ่งจำเป็นมากที่ช่วย กู้คืนสารอินทรีย์จากผลิตภัณฑ์จากแก้วได้จากร้อยละ 0.76 เป็นร้อยละ 1.13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการอบแห้งที่ยังไม่ดีพอ แต่กระบวนการนี้มีความสำคัญต่อการดำเนินการต่อไป

2.3.5 เทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยพลาสติกเป็นน้ำมัน

เป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนพลาสติก หรือยาง ให้เป็นน้ำมัน ด้วยวิธีการเผาแบบไพโรไลซิส ซึ่งวิธีนี้เป็นการให้ความร้อนแก่พลาสติก หรือยาง ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจะควบคุมทั้งความดัน อุณหภูมิ และมีตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 300–350 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายโครงสร้างของพลาสติกจนได้เป็นเชื้อเพลิงเหลว คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสที่ยังไม่ได้ผ่านการกลั่นนั้นมีความใกล้เคียงกับน้ำมันเตา ซึ่งสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาในโรงงานอุตสาหกรรม แต่เมื่อผ่านกระบวนการกลั่น และปรับสภาพทางเคมีแล้ว น้ำมันไพโรไลซิสจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เบนซิน และน้ำมันเตา ดังภาพที่ 2-10

ภาพที่ 2-10 เตาเผาแบบไพโรไลซิส

ที่มา: http://www.smithpower.co.th/pyrolysis-machine/

2.3.6 ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของขยะมูลฝอย

การจัดการขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลของประเทศไทยในปัจจุบัน ยังไม่สอดคล้องกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดขยะมูลฝอยตกค้างสะสม ซึ่งส่งผลกระต่อสภาวะแวดล้อม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2552) ดังนี้

1. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

ขยะมูลฝอยตกค้างสะสมนอกจากทำให้เกิดภาพลักษณ์ที่ไม่น่าดู ยังมีน้ำชะขยะมูลฝอยที่ซึมลงดิน และไหลลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการเน่าเสีย เป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค มีแมลงวันชุกชุมซึ่งเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคอหิวาตกโรคและท้องร่วง ประชาชนบางคนได้รับความเดือดร้อนจากกองขยะมูลฝอยจึงลักลอบเผาขยะมูลฝอย ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขยะมูลฝอยติดเชื้อ

ขยะมูลฝอยอันตราย และวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก ล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อยู่บริเวณรอบกองขยะมูลฝอย

2. ผลกระทบต่อสุขภาพ

ขยะมูลฝอยเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค รวมถึงเป็นแหล่งอาหาร และแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์นำโรคต่างๆ เช่น ยุง แมลงวัน แมลงสาบ หนู และสัตว์อื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดเหตุน่ารำคาญ รวมถึงก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารซึ่งมีแมลงวันเป็นพาหะ ขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการจัดการที่ดี เมื่อถูกลมพัดจะทำให้กระจัดกระจายไปตามพื้นที่ต่างๆ หากตกลงไปในแหล่งน้ำ ทำให้น้ำสกปรกและน้ำเสีย ขัดขวางการไหลของน้ำ และขยะมูลฝอยที่เทกองอาจทำให้เกิดการหมักซึ่งได้ก๊าซชีวภาพ อาจเกิดการระเบิดหรือติดไฟได้ นอกจากนี้ยังเกิดก๊าซไข่เน่าซึ่งมีกลิ่นเหม็นอีกด้วย

3. ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ

งบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดการต่างๆ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี เช่น ค่าขนส่ง การจ้างคน การจัดเก็บขยะมูลฝอยและทำลาย พนักงานทำความสะอาด รถเก็บขยะมูลฝอย เป็นต้น นอกจากนี้บางแห่งได้เตรียมงบประมาณหลายล้านบาทในการก่อสร้างสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย เช่น ที่ฝังกลบขยะมูลฝอย เตาเผาขยะมูลฝอย ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เพื่อรองรับขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับเมืองขนาดใหญ่ยิ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะมูลฝอยสูงตามไปด้วย

4. ผลกระทบทางสังคม

ประชาชนส่วนใหญ่มักคัดค้านการตั้งสถานที่สำหรับกำจัดขยะมูลฝอยเช่น พื้นที่สำหรับฝังกลบขยะมูลฝอย หรือกองขยะมูลฝอยตามที่สาธารณะ เพราะเกรงว่าอาจจะส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนซึ่งการคัดค้านนี้ คือประชาชนหรือคนในชุมชนไม่ต้องการให้นำพื้นที่ของชุมชนมาเป็นสถานที่รองรับขยะมูลฝอยจากที่อื่น (Not In My Backyard; NIMBY) เพราะไม่ได้ประโยชน์ รวมถึงอาจมีผลกระทบตามมา

และผลกระทบจากการจัดการขยะมูลฝอยแบบฝังกลบในดินด้านอื่นๆ ซึ่ง กิตติ ชยางกุล, 2553 แสดงไว้ดังนี้

1) ผลกระทบต่อสุขภาพ พนักงานเก็บขยะมูลฝอยได้รับบาดเจ็บจากการทำงาน เนื่องจากขยะมูลฝอยไม่มีการคัดแยก นอกจากนี้ขยะมูลฝอยเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ

2) ผลกระทบทางด้านจิตใจต่อประชาชนที่อยู่รอบๆ บ่อขยะ กังวลถึงการปนเปื้อนของขยะมูลฝอย ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น ดิน น้ำ และอากาศ

3) ผลกระทบทางด้านสังคม เกิดขยะมูลฝอยตกค้าง และไม่ทิ้งขยะมูลฝอยในที่ที่จัดเตรียมไว้

4) ผลการทบด้านสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งได้ 3 ด้าน ดังนี้

4.1) ด้านคุณภาพดิน ขยะมูลฝอยแบบเทกองจำพวกถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หลอดไฟ จะทำให้มีโลหะหนักปนเปื้อนในดิน เช่น ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว เป็นต้น นอกจากนี้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอย เมื่อเกิดการย่อยสลายจะทำให้ดินเป็นกรด

4.2) ด้านคุณภาพน้ำ การกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกอง ไม่มีการปูพื้น และปิดคลุม จะทำให้มีน้ำชะขยะมูลฝอยเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือแหล่งน้ำผิวดินบริเวณใกล้ๆ ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำไปใช้อุปโภคบริโภค รวมถึงอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชาวบ้าน

4.3) ด้านคุณภาพอากาศ การจัดการขยะมูลฝอยด้วยการเทกอง จะทำให้เกิดปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์ ก๊าซที่เกิดจากการหมัก เช่น มีเทน ก๊าซไข่เน่า คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก และฝุ่นละอองจากการเทขยะมูลฝอย

2.4 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศเป็นการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพสามารถสร้างความร้อนผลิตไฟฟ้า เป็นการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ทดแทน และผลพลอยได้อีกอย่างคือ ปุ๋ย (สารปรับสภาพดิน) โดยระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศโดยทั่วไปขยะมูลฝอยอินทรีย์ 1 ตัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 100-200 ลบ.ม. (ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ, 2559) ซึ่งสามารถแบ่งกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศได้ 2 แบบ คือ กระบวนการย่อยสลายแบบแห้ง (Dry Digestion Process) เป็นระบบที่มีปริมาณของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ตั้งแต่ร้อยละ 20–40 และกระบวนการย่อยสลายแบบเปียก (Wet Digestion Process) เป็นระบบที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบน้อยกว่าร้อยละ 20 ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 10–20

โดยทั่วไปการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งมีปริมาณของแข็งรวมที่ต่ำ ซึ่งเรียกการย่อยสลายแบบนี้ว่า การย่อยสลายไม่ใช้อากาศแบบเปียก การใช้วิธีการย่อยสลายแบบนี้จะใช้ปริมาณของน้ำจำนวนมาก ส่งผลให้เครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้งจะใช้ปริมาณน้ำที่น้อยลง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงงานและการดำเนินงานจะน้อยกว่าการย่อยสลายแบบเปียก ซึ่งปริมาณของของแข็งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Shohei Riya และคณะ, 2020) สามารถเปรียบเทียบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศทั้ง 2 ระบบ ได้ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 เปรียบเทียบกระบวนการย่อยสลายแบบแห้ง และกระบวนการย่อยสลายแบบเปียก

รายละเอียด	กระบวนการย่อยสลายแบบแห้ง	กระบวนการย่อยสลายแบบเปียก
ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่นำเข้า	TS>20%	10%<TS<20%
ลักษณะของสารตั้งต้น	Solid	Liquid suspension
ปริมาณการย่อยสลาย	น้อยกว่า	มากกว่า
อุณหภูมิที่ใช้เดินระบบ	ส่วนใหญ่ Thermophilic Band	Mesophilic และ Thermophilic Band
ระบบปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ บำบัดขั้นหลัง	ส่วนใหญ่จำเป็น	ส่วนใหญ่ไม่จำเป็น หาก Retention time เหมาะสม
ปริมาณน้ำทิ้ง	น้อยกว่า	มากกว่า
ความชื้น[1]	น้อยกว่า 75%	มากกว่า 75%
Input	ไม่ต้องปรับสภาพ หรือแยกประเภท ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในระบบ	ต้องปรับสภาพสารอินทรีย์ก่อนเข้าระบบเพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องจักร
การใช้พลังงานในการดำเนินงานของระบบ[1]	ใช้พลังงานเพียง 5% ของพลังงานที่ผลิตได้ในการดำเนินงานในโรงงาน	ใช้พลังงาน 10-30% ของพลังงานที่ผลิตได้ และต้องใช้พลังงานเพิ่มในการบำบัดน้ำเสีย
ข้อดี	1. กำจัดขยะมูลฝอย และให้ก๊าซชีวภาพมากกว่า 2. ลดปริมาณสารอินทรีย์อย่างน้อย 40% ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน 3.ประหยัดพื้นที่กว่าระบบหมักแบบเปียก	1. ควบคุม และดูแลง่าย 2. มีความสมดุลของพลังงานและประสิทธิภาพของต้นทุนในทางปฏิบัติ
ข้อเสีย	1. ต้องควบคุมระบบให้คงที่ ทำให้มีความยุ่งยากให้การดูแล 2. ตะกอนที่ระบายออกจากระบบหมัก มีแบคทีเรียปะปนออกไป ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง	1.อาศัยระบบถ่ายตะกอนเหลว ระบบรีดและหมุนเวียนน้ำชะขยะมูลฝอย อาศัยพื้นที่ในการติดตั้งระบบมาก 2. ปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้นกว่า 70% เพิ่มความเสี่ยงการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

ที่มา: ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2552), Bioferm energy systems and Viessmann group, (2020), ทวินันท์ สเลอาด, (2554) และ Shohei Riya และคณะ , (2020)

นอกจากปริมาณของความเข้มข้นที่แตกต่างกันระหว่างกระบวนการย่อยสลายแบบแห้ง และกระบวนการย่อยสลายแบบเปียกแล้ว การเกิดก๊าซชีวภาพยังต้องอาศัยพารามิเตอร์ ได้แก่ องค์ประกอบของขยะมูลฝอยต่อของแข็งที่ระเหยง่าย, ค่าพีเอช, อุณหภูมิ,สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio), อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR), ระยะเวลากักเก็บ (Retention Time) และการผสม การควบคุมพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายแบบไร้อากาศในระบบ ดังตารางที่ 2-9 ซึ่งใช้ถุงสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซในการเก็บก๊าซ (Dinh Duc Nguyen, 2016)

ตารางที่ 2-9 พารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

พารามิเตอร์	รายละเอียด
องค์ประกอบของขยะมูลฝอย/ของแข็งที่ระเหยง่าย	องค์ประกอบของขยะมูลฝอย ที่นำมาย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ประกอบด้วย สารอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหาร หญ้า กิ่งไม้ ส่วนที่ติดไฟได้ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายช้า กระดาษ ไม้ ซึ่งขยะมูลฝอยที่ติดไฟได้ไม่เหมาะสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ จึงต้องคัดแยกออก สุดท้ายขยะมูลฝอยที่มีคุณสมบัติเฉื่อย ได้แก่ หิน แก้ว ทราย และโลหะ ขยะมูลฝอยลักษณะนี้จะคัดแยกออกเพื่อนำไปรีไซเคิล หรือนำไปฝังกลบ ซึ่งการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ไม่สามารถย่อยสลายได้มีความสำคัญมาก ของแข็งที่ระเหยง่าย ขยะมูลฝอยอินทรีย์จะถูกวัดเป็นของแข็งทั้งหมดลบด้วยปริมาณเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ของแข็งที่ระเหยประกอบด้วย ของแข็งระเหยที่ย่อยสลายได้ และของแข็งระเหยทนไฟ ซึ่งองค์ประกอบของขยะมูลฝอยมีผลต่อทั้งผลผลิตก๊าซ และคุณภาพของปุ๋ยหมัก
ค่าพีเอช	Methanogenic Bacteria มีความไวต่อความเข้มข้นของกรด และกรดจะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้ ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศอยู่ระหว่าง 5.5-8.5 ระยะเวลาในการย่อยสลายของกระบวนการ acidification และ methanogenesis มีความต้องการพีเอชที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าพีเอชที่ลดลงสามารถควบคุมโดยการเพิ่มปูนขาว หากค่าพีเอชต่ำกว่า 5.5 ถือว่าถังปฏิกิริยาล้มเหลว

ตารางที่ 2-9 พารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

พารามิเตอร์	รายละเอียด
อุณหภูมิ	อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซมีเทน มี 2 ช่วง คือเมโซฟิลิกช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20–40 องศาเซลเซียส และเทอโมฟิลิกช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 50–65 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะเพิ่มกระบวนการเมทาบอลิซึมของแบคทีเรียที่สูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้นด้วย ซึ่งแบคทีเรียแต่ละชนิดเหมาะสมกับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิจึงมีความเหมาะสม
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของคาร์บอนและไนโตรเจนของสารอินทรีย์แทนค่าโดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศอยู่ระหว่าง 20–30 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงเป็นตัวบ่งชี้การใช้ไนโตรเจนโดยเมทาโนเจน และส่งผลให้การผลิตก๊าซลดลง นอกจากนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกิดจากการสะสมแอมโมเนีย และค่าพีเอชมากกว่า 8.5 ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนิก (methanogenic bacteria) โดยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการผสมวัสดุที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงและต่ำ เช่น ขยะมูลฝอยอินทรีย์นำมาผสมกับน้ำเสีย
อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR)	เป็นตัวชี้วัดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระบบย่อยแบบไม่ใช่อากาศ การป้อนเข้าสู่ระบบสูงเกินไปความสามารถของอัตราการรับสารอินทรีย์ให้ผลการเกิดก๊าซชีวภาพในระดับต่ำ เนื่องจากเกิดการสะสมของสารยับยั้ง เช่น กรดไขมันในบ่อหมัก ในกรณีนี้จะต้องลดลงอันตราการป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งอัตราการรับสารอินทรีย์เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมเป็นพิเศษในการเดินระบบ
ระยะเวลาในการกักเก็บ (Retention Time)	ระยะเวลาการพักในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ มีความแตกต่างกันตาม เทคโนโลยี อุณหภูมิ และองค์ประกอบของของเสีย ซึ่งระยะเวลาการกักเก็บในช่วงเมโซฟิลิกอยู่ระหว่าง 10–40 วัน ส่วนระยะเทอร์โมฟิลิกจะมีระยะการกักเก็บที่น้อยกว่าอยู่ที่ 14 วัน ระยะเวลาในการกักเก็บ คือ ระยะเวลาที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอาหารทั้งหมด

ตารางที่ 2-9 พารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

พารามิเตอร์	รายละเอียด
การผสม	จุดมุ่งหมายของการผสมในบ่อหมัก คือการผสมขยะมูลฝอยสดกับจุลินทรีย์เข้าด้วยกัน ซึ่งการผสมยังป้องกันการจับตัวบนฝา และหลีกเลี่ยงการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ แต่การกวนผสมมากเกินไปสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นการผสมอย่างช้าๆ จึงดีกว่า ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ผสมและปริมาณของการผสมขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ และปริมาณของแข็งในบ่อหมัก
ปริมาณของแข็ง[1]	ปริมาณของแข็งของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งได้ 2 แบบ คือ 1.ปริมาณของแข็งสูง (High-solid) มีค่าสูงกว่าร้อยละ 20 ถังหมักก๊าซชีวภาพจะใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำ เพราะความเข้มข้นสูงกว่า แต่จะใช้พื้นที่น้อยกว่า และ 2.ปริมาณของแข็งต่ำ (Low-solid) มีค่าต่ำว่าร้อยละ 15 ถังหมักก๊าซชีวภาพจะใช้พลังงานในการสูบน้อยกว่า แต่จะใช้พื้นที่มากกว่า นอกจากนี้น้ำตะกอนที่มีความใสกว่า จะทำให้เกิดการกระจายตัวของแบคทีเรีย ทำให้สัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง และผลิตก๊าซชีวภาพได้เร็วขึ้น
สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)[1]	ค่าสภาพความเป็นด่าง คือความสามารถในการรักษาความเป็นกรด-ด่าง ของระบบหมัก ซึ่งค่าที่เหมาะสมจะมีค่าในช่วง 1,000-5,000 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย[2]	ระบบที่มีการสะสมกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมากในช่วงแรก จะทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลง หากไม่ลดค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้ลดลง จะทำให้ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน อาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ โดยกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก กรดโพรไพโอนิก และกรดฟอร์มิก เป็นต้น

ที่มา : Themelis, (2002), สนทยา มูลศรีแก้ว และคณะ, (2555) และทวินันทร์ สเลอาด, (2554)

2.4.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 30-50 และก๊าซชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไฮโดรเจน ไฮโตรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ ซึ่งก๊าซมีเทนที่พบสามารถให้พลังงานความร้อนประมาณ 9,000 กิโลแคล/ลบ.ม. ควรระวังไม่ให้อากาศเข้าไปสัมผัสกับแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน เพราะหากเกิดการสัมผัสจะทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง (ญาณิศา และคณะ, 2558) นอกจากนี้ปริมาณค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับปริมาณของก๊าซมีเทน หากปริมาณก๊าซมีเทนสูงค่าความร้อนก็จะสูงตาม ซึ่งก๊าซชีวภาพที่มีปริมาณมีเทนในช่วงร้อยละ 65-70 จะมีค่าความร้อนประมาณ 21-25 กิโลจูล/ลบ.ม. ถ้าหากปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 50-55 จะมีความความร้อนประมาณ 18-20 กิโลจูล/ลบ.ม. (อัฆพรรค์ วรรณโกมล, 2560)

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ เกิดจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ ประกอบด้วย เซลลูโลส, โปรตีน, ลิกนิน, แป้ง, น้ำตาล, ไขมัน, กรดนิวคลีอิค และแอลกอฮอร์ (สถิตรัตน์ รอดอารีย์, 2554) จะอาศัยแบคทีเรีย 2 กลุ่มด้วยกัน คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ในการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอน ดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 ขั้นตอนกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอน	กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ
ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)	เป็นการย่อยสารโมเลกุลใหญ่และไม่ละลายน้ำ ให้มีขนาดเล็กลงและสามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ย่อยให้อยู่ในรูปน้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโนโดยปฏิกิริยานี้ต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ จำนวนแบคทีเรีย ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น
อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)	แบคทีเรียกลุ่มอะซิโดเจนิก (Acidogenic Bacteria) :จุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอนไฮโดรไลซิสให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ชนิดของจุลินทรีย์จะขึ้นกับชนิดของสารอินทรีย์ และสภาพแวดล้อม

ตารางที่ 2-10 ขั้นตอนกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

ขั้นตอน	กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ
อะซีโตเจเนซิส (Acetogenesis)	แบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic Bacteria) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ ให้กลายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเทต ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตก๊าซมีเทน รวมทั้งจะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนออกมามากขึ้น
เมทาโนเจเนซิส (Methanogenesis)	ขั้นตอนสุดท้ายอาศัยแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจนิก (Methanogenic Bacteria) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเทต ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งกรดซิติกหรือเกลืออะซิเทตสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 70 ของมีเทนที่เกิดขึ้น รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนด้วยเช่นกัน ส่วนที่เหลือคือ กรดแลคติก และกรดโพรพิโอนิก เปลี่ยนรูปมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และกรดระเหยง่าย

ที่มา: ทิพย์มาศ สมนึก, (2551) และอัฆพรรค์ วรรณโกมล, (2560)

จากตารางที่ 2-10 การทำงานของแบคทีเรียจะต้องมีปริมาณที่สัมพันธ์กัน หากสารอาหารมากเกินไปจะทำให้แบคทีเรียในกระบวนการไฮโดรไลซิส และกระบวนการอะซิโตเจเนซิส จะผลิตกรดออกมามาก ส่งผลให้แบคทีเรียในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนหยุดทำงาน ทำให้ก๊าซมีเทนไม่เกิด และหากปริมาณสารอาหารน้อยเกิดไป จะส่งผลให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ช้า ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้มีปริมาณน้อย ดังนั้นการเตรียมวัตถุดิบเข้าสู่ระบบหมักจึงมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงระบบหมักก๊าซชีวภาพนั้น หากมีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ และนำสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหลเข้า และไหลออกอย่างคงที่ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่ (มานิตย์ อำพันธุ์, 2544 อ้างถึงใน สถิตรัตน์ รอดอารีย์, 2554)

2.5 การจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา

ในปีงบประมาณ พ.ศ.2551 เทศบาลนครนครราชสีมา ได้รับงบประมาณแผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัด เป็นวงเงิน 418,010,791 บาท สำหรับการก่อสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ตั้งอยู่ตำบลโพธิ์กลาง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เป็นพื้นที่

แปลงทดลองเกษตรกรรมของกองทัพภาคที่ 2 ตั้งแต่ปี 2542 ใช้เป็นสถานกำจัดขยะมูลฝอยชั่วคราว เนื้อที่ 73 ไร่ ระบบกำจัดขยะมูลฝอยสามารถกำจัดขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นพื้นที่โดยรอบ และหน่วยงานอื่นอีก 38 แห่ง ดังตารางที่ 2-11

ตารางที่ 2-11 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่งขยะมูลฝอยมากำจัดในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น		
1. ทต.โคกกรวด	14. อบต.บ้านเกาะ	27. ทต.จอหอ
2. ทต.จักราช	15. อบต.บ้านโพธิ์	28. ทต.เมืองใหม่โคกกรวด
3. ทต.ไชยมงคล	16. อบต.บ้านใหม่	29. ทต.พุดชา
4. ทต.ด่านเกวียน	17. อบต.พันดุง	30. ทต.โคกสูง
5. ทต.ท่าเยี่ยม	18. อบต.มะเริง	31. อบต.พะเนา
6. ทต.นกออก	19. อบต.สีมุม	32. อบต.ท่าอ่าง
7. อบต.พันดุง	20. อบต.สุรนารี	33. อบต.โตนด
8. ทต.ปรุใหญ่	21. อบต.หนองกระทุ่ม	34. อบต.จันอัด
9. ทต.โพธิ์กลาง	22. อบต.หนองจะบก	35. อบต.หนองงูเหลือม
10. ทต.หนองไผ่ล้อม	23. อบต.หนองบัวศาลา	36. สวนสัตว์นครราชสีมา
11. ทต.หัวทะเล	24. อบต.หนองระเวียง	37. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
12. อบต.จอหอ	25. อบต.หมื่นไวย	
13. อบต.ตลาด	26. อบต.ขามทะเลสอ	38. เอกชนอื่นๆ

ที่มา: เทศบาลนครนครราชสีมา, (2560)

ระบบกำจัดขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบ ดังนี้ ระบบคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ ระบบหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ในส่วนของถังหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ อาศัยหลักการการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ได้ก๊าซชีภาพสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ได้ทำมาใช้ในโครงการ ดังภาพที่ 2-16 ส่วนที่เหลือจะจ่ายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งระบบกำจัดขยะมูลฝอยได้เปิดดำเนินการในเดือนเมษายน พ.ศ.2555 (งานวิเคราะห์นโยบาย และแผนกองวิชาการและแผนงาน เทศบาลนครนครราชสีมา, 2559)

ระบบกำจัดขยะมูลฝอยก่อสร้างบนพื้นที่ฝังกลบที่ปิดทับ สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ถึง 230 ตัน/วัน ผลพลอยได้จากระบบคือ ปุ๋ยอินทรีย์ กระแสไฟฟ้า และเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย ปัจจุบันปริมาณขยะมูลฝอยมีจำนวนมากขึ้น สาเหตุเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ การขยายตัวของ

ประชากร และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม (European Environment Agency, 2003) ส่งผลให้ขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบเกิดขีดความสามารถ เทศบาลจึงจำเป็นต้องคัดเลือกขยะมูลฝอยที่เหมาะสมเพื่อส่งเข้าระบบคัดแยก ส่วนขยะมูลฝอยส่วนเกินกำจัดโดยวิธีฝังกลบแบบสุขาภิบาล ตารางที่ 2-11 แสดงปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะมูลฝอยภายในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา และนอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา และตารางที่ 2-12 แสดงถึงผลผลิตที่ได้จากการกำจัดขยะมูลฝอยตั้งแต่ปี พ.ศ.2555-2557

ตารางที่ 2-12 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะมูลฝอย

หน่วยงาน	**ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน/วัน)**		
	ปี 2555	**ปี 2556**	**ปี 2557**
เขตเทศบาลนครนครราชสีมา	202.46	193.37	210.16
นอกเขตเทศบาลนครนครราชสีมา	165.14	151.70	154.30
- องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	116.16	95.43	154.30
- หน่วยงาน และเอกชนอื่นๆ	48.98	56.27	8.31

ที่มา : งานวิเคราะห์นโยบาย และแผนกองวิชาการและแผนงาน เทศบาลนครนครราชสีมา, (2559)

ตารางที่ 2-13 ผลผลิตที่ได้จากการกำจัดขยะมูลฝอย

ลำดับ	**ระบบ**	**หน่วย**	**ปี 2555**	**ปี 2556**	**ปี 2557**
1	กระแสไฟฟ้า	กิโลวัตต์/เดือน	28,656	9,791	17,532
2	เชื้อเพลิงขยะมูลฝอย	ตัน/วัน	3.00	2.00	3.00
3	ปุ๋ยอินทรีย์	ตัน/วัน	9.00	8.00	9.00

ที่มา : งานวิเคราะห์นโยบาย และแผนกองวิชาการและแผนงาน เทศบาลนครนครราชสีมา, (2559)

2.5.1 การดำเนินงานระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา

1. ระบบรับขยะมูลฝอย

การให้บริการกำจัดขยะมูลฝอยจากเทศบาลนครนครราชสีมาทุกวัน โดยไม่มีวันหยุด ตามการบันทึกข้อมูลการทำงาน สามารถแบ่งขยะมูลฝอยเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะมูลฝอยอินทรีย์คัดแยกที่แหล่งกำเนิด ขยะมูลฝอยตลาดสด ขยะมูลฝอยชุมชน และขยะมูลฝอยจำพวกกิ่งไม้

ใช้ระบบรับขยะมูลฝอยแบบเทกองบนพื้น ขยะมูลฝอยที่รับเทลงบนลานจำนวน 4 ลาน รับขยะมูลฝอยแยกตามประเภท โดยมีวิธีการจัดการ ดังนี้

1) เทศบาลนครนครราชสีมาส่งเสริมการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์จากครัวเรือน ร้านอาหาร ตลาดสด โดยสำนักงานสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม และสำนักการช่างทำหน้าที่เก็บรวบรวมแยกจากขยะมูลฝอยชุมชน

2) เทศบาลนครนครราชสีมาขอความร่วมมือเอกชน เพื่อคัดแยกขยะมูลฝอยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เศษผักผลไม้ เศษอาหาร และอีกส่วนเป็นขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายยาก โดยสำนักงานสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมรับหน้าที่ดำเนินการจัดเก็บ

3) ขยะมูลฝอยแบบถังเดียวไม่ได้รับการคัดแยก สำนักงานสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมรับหน้าที่ดำเนินการจัดเก็บ

4) ขยะมูลฝอยจำพวกกิ่งไม้ สำนักงานสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมรับหน้าที่ดำเนินการจัดเก็บ

5) สิ่งปฏิกูล เอกชนทำหน้าที่ดำเนินการจัดเก็บภายใต้การกำกับดูแลของเทศบาลนครนครราชสีมา

2. ระบบคัดแยกและเตรียมขยะมูลฝอยอินทรีย์

รถที่ดำเนินการจัดเก็บขยะมูลฝอยจะนำขยะมูลฝอยเทลงบนลานแยกตามประเภท ซึ่งการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ขยะมูลฝอยอินทรีย์คัดแยกที่แหล่งกำเนิด ขยะมูลฝอยตลาดสด และขยะมูลฝอยชุมชน ขยะมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกทั้งหมดจะเข้าเครื่องย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์เหลว และผสมกับน้ำ ก่อนเข้าสู่ถังปรับสภาพและถังหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ตามลำดับ โดยมีวิธีการจัดการ ดังนี้

1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์คัดแยกที่แหล่งกำเนิด ดำเนินการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนบนสายพานลำเลียงด้วยแรงงานคน และป้อนเข้าสู่เครื่องคัดแยกด้วยน้ำโดยใช้รถตัก

2. ขยะมูลฝอยตลาดสด ดำเนินการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายยากและชิ้นใหญ่ด้วยแรงงานคน ก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องคัดแยกด้วยน้ำ

3. ขยะมูลฝอยชุมชน ใช้รถตักล้อยางเข้าเครื่องฉีกถุง และส่งเข้าเครื่องร่อนขยะมูลฝอยแบบอุโมงค์ ก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องคัดแยกด้วยน้ำ

3. ระบบย่อยสลายไม่ใช้อากาศแบบเปียก (Wet Anaerobic Digestion)

ระบบการย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ใช้ระบบเปียก ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 5–8 ของปริมาณน้ำ อุณหภูมิประมาณ 30–38 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 21 วัน ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ประกอบด้วย ถังหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์จำนวน 2 ใบ มีเครื่องกวนตะกอนแบบกวนสมบูรณ์ และเครื่องกวนตะกอนย้อนกลับระหว่างถังหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ทั้ง 2 ใบ ก๊าซชีวภาพที่ได้จะนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า และตะกอนที่ย่อยสลายสมบูรณ์จะส่งไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต่อไป

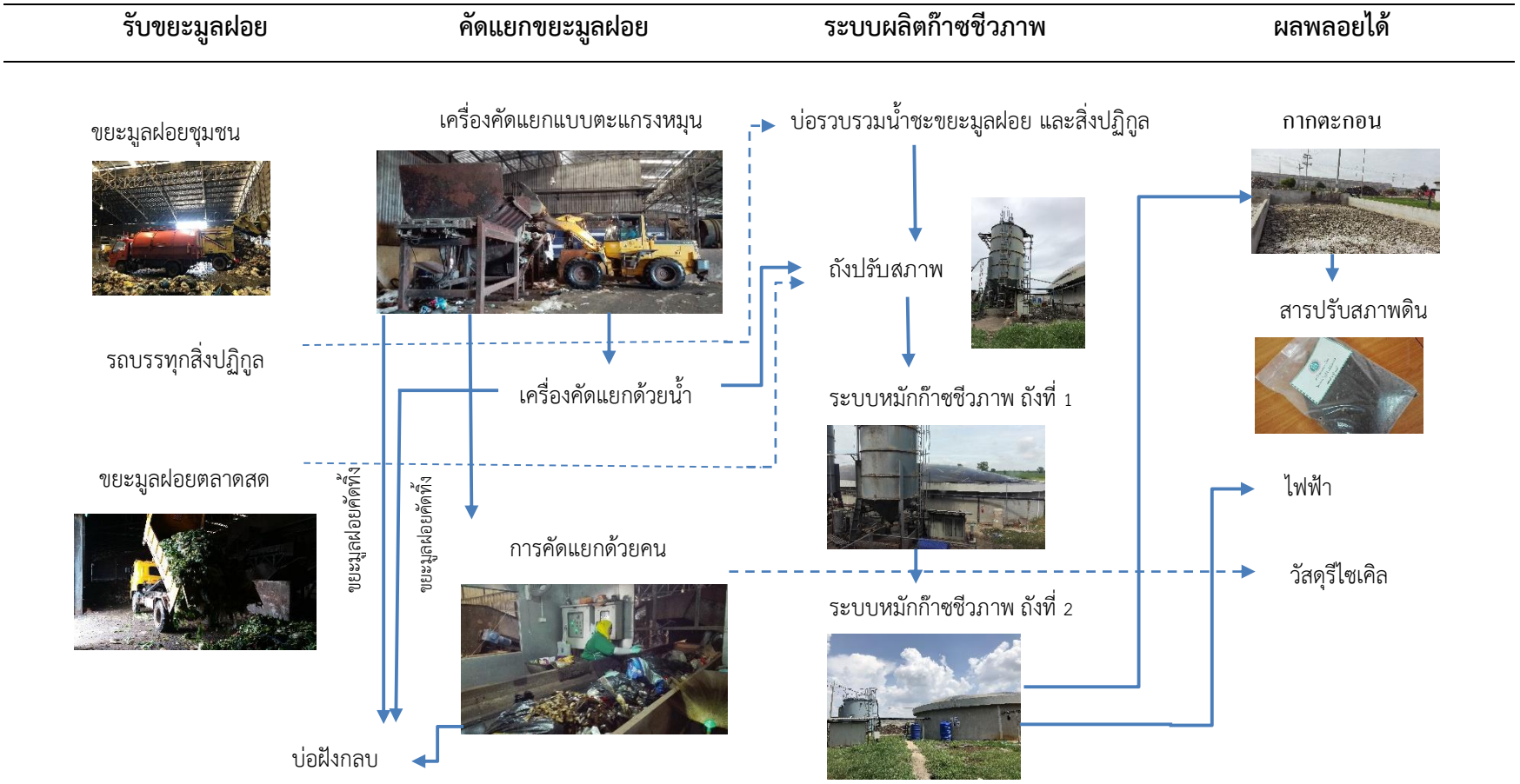
เนื่องจากมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบกวนตะกอน ทางเทศบาลจึงได้นำขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ได้จากการคัดแยกเป็นที่เรียบร้อยเข้าสู่ระบบหมักปุ๋ยอินทรีย์โดยตรง แต่ส่วนของขยะมูลฝอยอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดที่มีส่วนผสมของน้ำปน จึงได้นำมาตั้งกองเพื่อดึงน้ำชะขยะมูลฝอยออกก่อนที่จะนำไปทำปุ๋ย โดยปกติแล้วขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบจะต้องมีการคัดแยกขยะมูลฝอยชิ้นใหญ่ เช่น ที่นอน กระสอบออกเสียก่อน เพื่อป้องกันผลกระทบต่อเครื่องจักรระบบคัดแยก ส่วนขยะมูลฝอยคัดทิ้งจากเครื่องร่อนจะนำไปฝังกลบ

4. ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์เป็นการหมักแบบใช้อากาศ แบบกองลาน (Passive Windrow Composting) เมื่อตรวจพบอุณหภูมิกองปุ๋ยสูงเกิน 60 องศาเซลเซียส จะใช้รถตักพลิกกลับกองปุ๋ย วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ กิ่งไม้ มูลของม้า กากตะกอนจากระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ กากตะกอนจากเครื่องบีบกากตะกอนบริเวณถังปรับสภาพก่อนหมัก และขยะมูลฝอยอินทรีย์ชิ้นเล็กส่วนที่ได้จากเครื่องร่อนแบบอุโมงค์ (กรณีเครื่องจักรในระบบเตรียมชำรุด)

5. ระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอย

ระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยจะนำขยะมูลฝอยส่วนที่เหลือจากการคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ใช้แรงงานคนคัดแยกพลาสติก 2) เป็นขยะมูลฝอยเบาที่ถูกคัดแยกด้วยเครื่องคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ด้วยน้ำ ระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยเป็นระบบที่ดำเนินงานต่อเนื่องจากระบบรับและคัดแยกขยะมูลฝอย มีการรับขยะมูลฝอยเข้าระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยทุกวัน และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทางเทศบาลนครนครราชสีมาจึงได้จำหน่ายเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยให้เอกชนที่สนใจในรูปแบบของเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยแบบชิ้น โดยแผนผังการดำเนินงานของเทศบาลนครนครราชสีมาแสดงได้ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-11 แผนผังระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา

2.6 การจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน

แต่เดิมพบว่า ในอำเภอสูงเนินมีปริมาณขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัด 107 ตัน/วัน ซึ่งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็กบางพื้นที่ยังไม่มีอุปกรณ์ในการจัดเก็บขยะมูลฝอย หรือยังไม่สามารถจัดเก็บได้อย่างทั่วถึง ดังนั้น เทศบาลตำบลสูงเนิน ร่วมกับจังหวัดนครราชสีมา อำเภอสูงเนิน องค์การบริหารส่วนตำบลสูงเนิน สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 11 และมูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ร่วมกันพิจารณาหาที่ดินเพื่อจัดทำสถานที่จัดการขยะมูลฝอยแห่งใหม่ ซึ่งใช้เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้ง และระบบฝังกลบขยะมูลฝอย ส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายสามารถทำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยการเลือกใช้เทคโนโลยีมีความเหมาะสมตามสภาพชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน ซึ่งส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกร (สำนักงานเทศบาลตำบลสูงเนิน, 2559)

ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ตั้งอยู่บ้านปางแต้ หมู่ที่ 13 ตำบลสูงเนิน อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ 50 ไร่ รองรับขยะมูลฝอยจากเทศบาลตำบลสูงเนิน และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นข้างเคียง จำนวน 13 แห่ง ดังตารางที่ 2-12

ตารางที่ 2-14 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่งขยะมูลฝอยมากำจัดในเขตเทศบาลตำบลสูงเนิน

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	
1. ทต.สูงเนิน	8. อบต.สูงเนิน
2. ทต.กุดจิก	9. อบต.เสมา
3. อบต.กุดจิก	10. อบต.หนองตะไก้
4. อบต.โคราช	11. ทต.โคกกรวด
5. อบต.นากลาง	12. ทต.ขามทะเลสอ
6. อบต.ปุงขี้เหล็ก	13. อบต.บึงอ้อ
7. อบต.มะเกลือเก่า	

ที่มา: เทศบาลตำบลสูงเนิน, (2560)

มีปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บ 50 ตัน/วัน องค์ประกอบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ประกอบด้วย

1) ระบบคัดแยกขยะมูลฝอยเบื้องต้น (รองรับขยะมูลฝอย 50 ตัน/วัน)

2) ระบบย่อยสลายไม่ใช้อากาศ แบบแห้ง ลักษณะเป็นห้องปิด (รองรับขยะมูลฝอย 50 ตัน/วัน) มีระบบหมุนเวียนนำน้ำชะขยะมูลฝอยไปบำบัดในถังปฏิกิริยา

3) ระบบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (ผลิตปุ๋ยได้ 5 ตัน/วัน)

4) ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ

5) บ่อฝังกลบขยะมูลฝอยที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้

ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลตำบลสูงเนิน เปิดดำเนินการเมื่อเดือน ธันวาคม 2557 กำจัดขยะมูลฝอยโดยใช้ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ แบบแห้ง รองรับขยะ มูลฝอย 50 ตัน/วัน ในอุณหภูมิ 20–45 องศาเซลเซียส อาศัยจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก (Mesophilic) ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย 25 วัน ผลพลอยได้ ได้แก่ ก๊าซชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์

2.6.1 การดำเนินงานระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน

1. ระบบรับขยะมูลฝอย

รถเก็บขยะมูลฝอยที่เข้าศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยทุกคันต้องทำการ ชั่งน้ำหนักทั้งขาเข้าและขาออก เพื่อบันทึกน้ำหนักก่อนนำไปเทกองบนพื้นในอาคารรับ และคัดแยกส่วนหน้า แบ่งช่องรับเป็น 3 ช่อง ได้แก่ ขยะมูลฝอยชุมชน ขยะมูลฝอยตลาดสด และขยะมูลฝอยกิ่งไม้ ขยะมูลฝอยที่มีสัดส่วนของขยะมูลฝอยอินทรีย์สูงกว่าร้อยละ 50 ให้เทลงในช่องเดียวกับขยะมูลฝอยตลาดสด

2. ระบบคัดแยกขยะมูลฝอยส่วนหน้า

1. คัดแยกขยะมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออก

2. ใช้เครื่องย่อยขยะมูลฝอยแบบเคลื่อนที่ (Mobile shredder) ย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 ให้มีขนาดเล็กลง และแตกออกจากถุงให้มากที่สุด ตั้งกองชั่วคราวบนพื้นจนได้ปริมาณที่มาก จากนั้นใช้รถตักขนไปยังห้องย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์

3. ใช้เครื่องย่อยขยะมูลฝอยแบบเคลื่อนที่ (Mobile shredder) ย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 50 และป้อนเข้าเครื่องร่อนขยะมูลฝอยแบบอุโมงค์ คัดแยกขยะมูลฝอยที่มีขนาดเล็กกว่า 80 มม. นำขยะมูลฝอยที่ได้ไปผสมกับขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 ก่อนขนเข้าห้องย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์ ส่วนขยะมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ว่า 80 มม. นำไปกำจัดโดยการฝังกลบ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ต่อไป

4. ใช้เครื่องย่อยขยะมูลฝอยแบบเคลื่อนที่ย่อยกิ่งไม้ให้มีขนาดเล็ก ใช้สำหรับผสมกับขยะมูลฝอยอินทรีย์ให้เกิดช่องว่างเพียงพอสำหรับอากาศและน้ำไหลผ่านได้

3. ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้ง (Dry Anaerobic Digestion)

ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้ง ใช้ห้องย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์ขนาด 125 ตัน จำนวน 5 ห้อง และถังปฏิกิริยาเหลว 1,600 ลบ.ม. จำนวน 1 ใบ ใช้เวลาประมาณ 3–5 วัน ในการขนขยะมูลฝอยที่ย่อยลายได้จนเต็มห้อง และปิดประตูให้สนิท เดินเครื่องเติมอากาศเข้ากองขยะมูลฝอยอินทรีย์ผ่านทางท่อเติมอากาศที่ฝังใต้พื้นห้อง เพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศประมาณ 1–2 วัน เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนเหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศโดยจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก (Mesophilic bacteria) ใช้เวลาในการกักเก็บขยะมูลฝอยอินทรีย์ประมาณ 25 วัน และเกิดน้ำชะขยะมูลฝอยที่ไหลจากกองขยะมูลฝอยไหลลงไปในบ่อรับน้ำตามแรงโน้มถ่วง สูบน้ำชะขยะมูลฝอยไปบำบัดในถังปฏิกิริยา ต้องทำการกวนตลอดเวลาเพื่อให้สารอินทรีย์ในน้ำชะขยะมูลฝอยผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ และเกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ หมุนเวียนตะกอนเชื้อจากถังปฏิกิริยาโดยสเปรย์ลงบนกองขยะมูลฝอยในห้องย่อยสลายทุกวัน วันละ 6 ชั่วโมง และตรวจสอบภาวการณ์ย่อยสลายโดยวัดพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าซีโอดี กรด–ด่าง อุณหภูมิของน้ำชะขยะมูลฝอย แรงดันของก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดจากห้องย่อยสลายทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ทำการบันทึกและควบคุมการเดินระบบหมัก ดังภาพที่ 2-12

4. ระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบกองเติมอากาศ

ขยะมูลฝอยที่ผ่านจากการย่อยสลาย 25 วัน นำไปหมักในช่องของอาคารปุ๋ยหมักอินทรีย์จนเต็ม เดินเครื่องเติมอากาศผ่านท่อใต้กองปุ๋ยทุกวัน วันละ 4–8 ชั่วโมง และสเปรย์อินทรียวัตถุจากถังปฏิกิริยาบนลงกองปุ๋ย เพื่อเพิ่มธาตุไนโตรเจนและความชื้น ระยะเวลาที่หมักปุ๋ย 30 วัน หลังจากนั้นใช้เครื่องร่อนแบบเคลื่อนที่ และเครื่องแยกวัสดุเบา แยกพลาสติก วัสดุอื่นๆ ที่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุรีไซเคิล ออกจากปุ๋ยหมัก

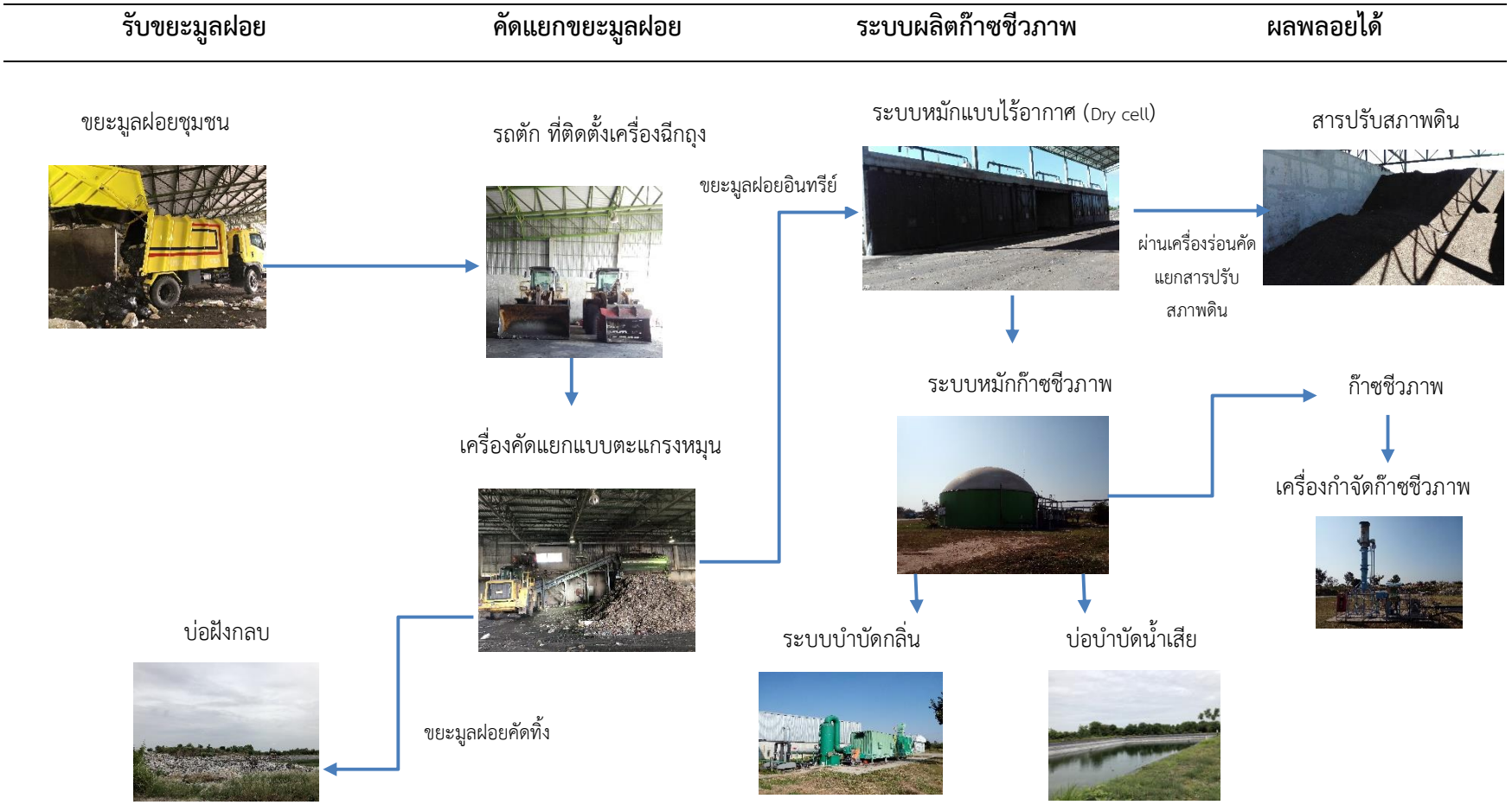
5. แผนการจัดการขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายยาก ส่วนที่เหลือจากการเดินระบบ

ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลตำบลสูงเนิน วางแผนการจัดการขยะมูลฝอยย่อยสลายยากที่เหลือจากการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย แบ่งเป็น 3 ระยะ

1) ระยะที่สั้น จำหน่ายขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกให้กับเอกชนที่สนใจเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการรีไซเคิล

2) ระยะกลาง จำหน่ายให้กับโรงงานปูนซีเมนต์ เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

3) ระยะยาว เพิ่มเติมระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ แบบแห้ง ให้สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ 100 ตัน/วัน และเพิ่มเติมระบบผลิตพลังงานจากขยะมูลฝอยย่อยสลายยากส่วนใหญ่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งช่วยเพิ่มรายได้ให้เพียงพอสำหรับค่าดำเนินการระบบในอนาคต



ภาพที่ 2-12 แผนผังระบบกำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบและปริมาณของขยะมูลฝอย ความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอย รวมถึงได้มีการทบทวนวรรณกรรมที่มีความใกล้เคียงและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ และปริมาณขยะมูลฝอย

นรินทร์ พัฒนพงศา (2542) ได้ศึกษา “ความรู้ ทัศนคติเกี่ยวกับขยะมูลฝอยและการจัดการของเมืองเชียงใหม่ และการลดปริมาณขยะมูลฝอยด้วยวิธีการต่างๆ โดยใช้การสัมภาษณ์ และการกรอกแบบสอบถามจากผู้เข้าร่วมสัมมนาเกี่ยวกับแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืน จัด 3 ครั้ง รวมทั้งหมด 135 คน เป็นผู้ตอบข้อมูล จากการวิเคราะห์แบบสอบถาม พบว่ามี 5 ประเด็นที่ยังมีความรู้ไม่เพียงพอ และมี 3 ประเด็นที่มาทัศนคติที่ไม่ดีนัก จากการสำรวจองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในเมืองเชียงใหม่อย่างละเอียดใน พ.ศ.2553 พบว่า โดยเฉลี่ยในกองขยะมูลฝอยพบสารอินทรีย์ร้อยละ 34.20 กระดาษร้อยละ 18.50 และพลาสติกร้อยละ 12.20 ตามลำดับ โดยมีองค์กรเอกชนมุ่งส่งเสริมให้มีการลดปริมาณขยะมูลฝอย โดยการนำไปหมักและการนำไปแปรสภาพใหม่ ที่สำคัญคือกรรมการด้านสิ่งแวดล้อม ตำบลสุเทพ อำเภอเมืองเชียงใหม่ และชมรมเดินเพื่อสิ่งแวดล้อมเชียงใหม่ แต่การเผยแพร่แนวทางปฏิบัติให้กว้างขวางออกไปอาจมีข้อติดขัดบ้าง”

ปราณี ไพบูลย์สมบัติ (2546) ได้ศึกษา “ชนิด ปริมาณขยะมูลฝอย และพฤติกรรมการทิ้งขยะมูลฝอยของนักท่องเที่ยว และผู้ประกอบการในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ โดยทำการเก็บข้อมูลชนิด ปริมาณขยะมูลฝอย ในพื้นที่ประกอบกิจกรรมนันทนาการในแต่ละฤดูกาลและกลุ่มวัน ใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูลจากนักท่องเที่ยวกลุ่มตัวอย่าง 418 คน และจากผู้ประกอบการทั้งหมด วิเคราะห์โดยใช้สถิติพรรณนา และการทดสอบความแปรปรวน การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และการทดสอบในการทดสอบสมมติฐาน จากการศึกษาพบว่า ชนิดขยะมูลฝอยของนักท่องเที่ยวที่มากที่สุด คือ เศษอาหาร ขวดแก้ว/เศษแก้ว และถุงพลาสติก/เศษพลาสติก ตามลำดับ ปริมาณขยะมูลฝอยเกิดมากที่สุดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ของฤดูฝนคิดเป็น 2,103.13 กก./วัน และพื้นที่ใช้ประโยชน์ในช่วงกลางคืน พื้นที่กางเต็นท์ในวันหยุดนักขัตฤกษ์ของฤดูหนาวที่มีขยะมูลฝอยมากที่สุด 1,415 กก./วัน และมีอัตราการการเกิดสูงสุดคิดเป็น 1.19 กก./คน/วัน สำหรับพฤติกรรมการทิ้งขยะมูลฝอย พบว่านักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการส่วนใหญ่มีการแยกขวดแก้ว/เศษแก้ว เก็บรวบรวมเศษอาหาร และทำ

การมัดปากถุงก่อนนำไปทิ้งถังขยะมูลฝอย ไม่ได้นำเศษอาหารกลับไปเลี้ยงสัตว์ และผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะทำการแยกขยะมูลฝอยเปียกและแห้ง ลดขนาดของขยะมูลฝอยให้เล็กลงก่อนนำไปทิ้ง ในขณะที่นักท่องเที่ยวไม่มีพฤติกรรมนี้ จากการสมมติฐานพบว่า นักท่องเที่ยวที่กลุ่มเดินทางและการพักแรมแตกต่างกัน จะมีพฤติกรรมการทิ้งขยะมูลฝอยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และจำนวนของนักท่องเที่ยว มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการทิ้งอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05”

ปรียาภัทร วรรณสุข (2551) ได้ศึกษา “องค์ประกอบและการประมาณปริมาณขยะ มูลฝอย เขตเทศบาลตำบลนาส่วง จังหวัดอุบลราชธานี ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของขยะมูลฝอย ตลอดจนอัตราการเกิดขยะมูลฝอย และการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยในอนาคต 10 ปี โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งกำเนิด ได้แก่ โรงเรียน ตลาดสด ที่พักอาศัย สถานีอนามัย ชุมชนติดถนนหลัก และขยะมูลฝอยรวม จากการศึกษาพบว่า ทุกแหล่งกำเนิดมีองค์ประกอบของขยะมูลฝอยรีไซเคิลมากที่สุด ค่าความชื้นร้อยละ 40–90 ความหนาแน่น 110–250 กก./ลบ.ม. อัตราส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจน (C/N Ratio) มีค่า 13.11:1 ส่วนอัตราการเกิดขยะมูลฝอยแต่ละแหล่งกำเนิดมีค่าประมาณ 0.4–1.7 กก./คน/วัน และอัตราการเกิดขยะมูลฝอยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 0.50 กก./คน/วัน แต่อย่างไรก็ตามหากเทศบาลมีการรณรงค์ให้มีการคัดแยกขยะมูลฝอย จะสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยได้ถึงร้อยละ 80”

ธนพล เมธาวินวิวัฒน์ (2554) ได้ศึกษา “ปัจจัยกำหนดปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทย มีปัจจัยที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศ และจำนวนประชากรในประเทศไทย ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิรายปี ระหว่าง พ.ศ.2536–พ.ศ.2551 รวม 16 ปี จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศ และจำนวนประชากรในประเทศ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศ ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถพิจารณาตัวแปรทั้ง 3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการกำหนดมาตรการ เพื่อแก้ไขปัญหาปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ”

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ และปริมาณขยะมูลฝอย พบว่าองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่พบมากที่สุด ได้แก่ ขยะมูลฝอยอินทรีย์ เศษกระดาษ พลาสติก โดยมีปริมาณขยะมูลฝอยแต่ละชนิดที่แตกต่างกันตามฤดูกาล กิจกรรม หรือสถานที่ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของขยะมูลฝอย ส่วนปัจจัยการเกิดขยะมูลฝอยจะสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ จำนวนโรงงาน

อุตสาหกรรมในประเทศ และจำนวนประชากรในประเทศ การจัดการขยะมูลฝอยต้องเข้าถึงข้อมูลดังกล่าว เพื่อใช้แก้ไขปัญหาปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอย

มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน (2550) ได้ศึกษา “ความเป็นไปได้ในการใช้ขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการใช้ขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ความเหมาะสมของเทคโนโลยี และความเป็นไปได้ในการลงทุนโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยขยะมูลฝอยชุมชน จากการศึกษาพบว่า ปัจจุบันรัฐได้กำหนดทิศทางและนโยบายในการสนับสนุนให้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยชุมชน และกระทรวงพลังงานได้สนับสนุนการรับซื้อกระแสไฟฟ้า ซึ่งกำหนดส่วนเพิ่มของราคารับซื้อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนในอัตราที่สูงกว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ โดยเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เทคโนโลยีเตาเผาแบบตะกรับ เพื่อใช้กับขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ง่าย มีความชื้นน้อย และเทคโนโลยี การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับขยะมูลฝอยอินทรีย์ ในด้านการบริหารจัดการ ได้เสนอให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสนับสนุนให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยชุมชน เพื่อลดภาระที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น”

จอมอัฐ สว่างวงศ์ (2553) ได้ศึกษา “ความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าขยะมูลฝอย ในพื้นที่เขตภาคใต้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการศึกษา 3 ด้าน ดังนี้ 1. ด้านศักยภาพซึ่งจะพิจารณาในแง่ของปริมาณ องค์ประกอบ และความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน เปรียบเทียบระหว่าง 3 เทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีเตาเผา เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ และเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ 2. ด้านความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งพิจารณาในแง่ของต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า 3. ด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาด้านศักยภาพ พบว่า ในพื้นที่เขตใต้มีปริมาณขยะมูลฝอยอยู่ประมาณ 450 ตัน/วัน องค์ประกอบของขยะมูลฝอยประกอบด้วย เศษอาหารร้อยละ 63.15 กระดาษร้อยละ 5.90 พลาสติกร้อยละ 16.18 แก้วร้อยละ 8.17 โลหะร้อยละ 1.09 ผ้าร้อยละ 0.34 ใบไม้ร้อยละ 1.03 และอื่นๆร้อยละ 4.00 ขยะมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกมาเผาสามารถรองรับโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำได้ที่กำลังผลิต 7.5 เมกะวัตต์ หากใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะเพียงพอสำหรับโรงไฟฟ้าที่มีกำลังผลิต 2.4 เมกะวัตต์ และปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากหลุมฝังกลบรองรับไฟฟ้า

ที่มีกำลังผลิตเพียง 0.8 เมกะวัตต์ แต่เมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่า เทคโนโลยีการฝังกลบกลับมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด 0.34 บาท/กิโลวัตต์ เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ 5.15 บาท/กิโลวัตต์ และเทคโนโลยีเตาเผาสูงสุดคือ 5.15 บาท/กิโลวัตต์ สุดท้ายการพิจารณาด้านผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่า ผลกระทบของการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ฝนกรด และการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของพืชน้ำ รองลงมาเป็นเทคโนโลยีหลุมฝังกลบ ซึ่งมีผลกระทบเช่นเดียวกันกับเทคโนโลยีเตาเผา ส่วนการผลิตไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุดคือเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ นอกจากนี้ยังได้อาศัยข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย หน่วยงานของรัฐ และผู้เชี่ยวชาญ/นักวิชาการ/นักวิจัย จำนวน 4,239 คน จากผลการประเมินพิจารณาในทุกๆ ด้านพร้อมกัน พบว่าเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมที่สุด ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ เทคโนโลยีเตาเผา และเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ตามลำดับ”

ชูศักดิ์ เทียมเมฆา (2556) ได้ศึกษา “ความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอย ในพื้นที่เทศบาลเมือง เทศบาลตำบลปากแพรก และเทศบาลตำบลท่ามะขาม จังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการศึกษาด้านเทคนิค พบว่า พื้นที่เทศบาลเมืองและเทศบาลใกล้เคียงมีปริมาณขยะมูลฝอย 89.45 ตัน/วัน โดยมีองค์ประกอบเฉลี่ย เศษอาหารร้อยละ 43.07 กระดาษร้อยละ 15.78 พลาสติกร้อยละ 16.70 แก้วร้อยละ 4.60 โลหะร้อยละ 4.20 ยาง/หนังร้อยละ 2.57 ผ้าร้อยละ 2.29 ไม้หรือใบไม้ร้อยละ 6.64 หินหรือกระเบื้องร้อยละ 2.11 และอื่นๆร้อยละ 2.74 ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4 วิธี 1) เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย 2) เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ 3) เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบฝังกลบ และ 4) เทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชน จากการวิเคราะห์สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ 2.23, 0.49, 0.39, 3.13 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับการผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยอัดแท่ง มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด รองลงมาคือเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากฝังกลบขยะมูลฝอย เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอยชุมชน และเทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในพื้นที่ต้องมีการพิจารณาผลกระทบทางสังคม และการยอมรับของประชาชนในพื้นที่เพิ่มเติมอีกด้วย”

วาสนา รื่นรส (2560) ได้ศึกษา “ลักษณะขยะมูลฝอยและการจัดการขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยทำการศึกษาลักษณะขยะมูลฝอยทางกายภาพ–

เคมี พบว่า อัตราการเกิดขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เฉลี่ย 0.60 กก./คน/วัน เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยพบ พลาสติกมากที่สุดร้อยละ 37.10 รองลงมาเป็นเศษอาหารร้อยละ 24.80 กระดาษร้อยละ 16.70 แก้วร้อยละ 10.00 โลหะร้อยละ 2.00 กระเบื้องร้อยละ 1.20 เศษใบไม้ร้อยละ 0.80 ยางและหนังร้อยละ 1.40 และอื่นๆร้อยละ 5.60 และเมื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นของขยะมูลฝอย พบว่าขยะมูลฝอยมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 69.87 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ร้อยละ 8.12 เถ้าร้อยละ 3.29 จากการศึกษาได้ให้ความสำคัญในการจัดการของเสียให้ประสบความสำเร็จ โดยการคัดแยกขยะมูลฝอยการทำไปทิ้ง จำนวนและภาชนะสำหรับทิ้งขยะมูลฝอย ควรออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับขยะมูลฝอย และควรพิจารณาให้ใช้ประโยชน์ของขยะมูลฝอย รวมถึงส่งเสริม สนับสนุนการคัดแยก และลดขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัย”

Arafat, Jijakli และ Ahsan (2013) ได้ศึกษา “การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใน 5 วิธีที่จะจัดการขยะมูลฝอยชุมชน เพื่อให้ได้พลังงานกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ใน 5 วิธีการจัดการขยะมูลฝอยนั้น คือ การเผา การแปรสภาพเป็นแก๊ส การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ หลุมฝังกลบ และการทำปุ๋ยหมัก ในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้บำบัดของเสีย 6 ประเภท ได้แก่ อาหาร ขยะมูลฝอยจากสวนหลังบ้าน พลาสติก กระดาษ ไม้ และเศษผ้า ในด้านการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ พบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือ การรีไซเคิลกระดาษ ไม้ และพลาสติก รวมถึงการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ และการเผา ในทางกลับกันระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละกระบวนการขึ้นอยู่กับประเภทที่ส่งผลกระทบ ซึ่งการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ และการแปรสภาพเป็นแก๊สจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการอื่นๆ”

Ahamed และคณะ. (2015) ได้ศึกษา “ใช้วิธีการการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และปรับปรุงแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยอินทรีย์ด้วยวิธี การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ และไบโอดีเซล โดยศึกษาตั้งแต่การจัดเก็บกระบวนการการแปรรูปขยะมูลฝอย และการกำจัด ซึ่งผลผลิตที่ได้ คือ พลังงานไฟฟ้า ถ่ายไฮโดร และกลีเซอรอล จากการศึกษาด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่า ไบโอดีเซลเหมาะสมกับอาหารที่มีปริมาณน้ำมันมากกว่าร้อยละ 5 และการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเหมาะสมกับอาหารที่มีน้ำมันน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 5 ด้านการวิเคราะห์ต้นทุน และผลประโยชน์พบว่า การย่อยแบบไม่ใช้อากาศเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดหากใช้ในพื้นที่ที่เหมาะสม และการเปลี่ยนขยะมูลฝอยเป็นพลังงาน

ไบโอดีเซลเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการเผา การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเศษอาหาร องค์ประกอบ และให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจในประเทศสิงค์โปมีข้อมูลเชิงลึกเพื่อใช้ในการจัดการของเสีย และทิศทางสำหรับการปรับปรุงระบบที่มี”

Chen (2016) ได้ศึกษา “การประเมินศักยภาพสำหรับการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ และการลดก๊าซเรือนกระจกจากขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้วิธี waste-to-material ของเสียที่เกิดในประเทศไต้หวันส่วนใหญ่เป็นกระดาษ เศษอาหาร และพลาสติก ก่อนหน้านี้ขยะมูลฝอยส่วนใหญ่ถูกส่งไปเตาเผาโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอย อย่างไรก็ตามการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธี waste-to-material ที่ประสบความสำเร็จ คือ การรีไซเคิลโลหะ และกระดาษ จากการศึกษาพบว่า โลหะและแก้วไม่เหมาะสำหรับการเผา เนื่องจากได้พลังงานต่ำ ส่วนปริมาณของกระดาษและเศษอาหาร มีผลต่อความเข้มข้นคาร์บอน ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดก๊าซเรือนกระจกระหว่างการเผาได้ การพัฒนาวิธี waste-to-material อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการที่เหมาะสมของขยะมูลฝอย และเป็นต้นแบบในการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับประเทศอื่นๆ”

Dinh และคณะ. (2016) ได้ศึกษา “การย่อยสลายไม่ใช้อากาศแห้งแบบกึ่งต่อเนื่อง เป็นวิธีที่นำมาใช้สำหรับเปลี่ยนเศษอาหารให้เป็นพลังงานทดแทน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินผลการศึกษาประสิทธิภาพของแต่ละระบบ และแบบจำลองการคาดการณ์การผลิตก๊าซชีวภาพ และสมดุลของพลังงานขณะดำเนินงาน ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ลดลง และอัตราการผลิตก๊าซดีขึ้นพร้อมกับอัตราการโหลดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายไม่สูง การลดปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ประสบความสำเร็จถึงร้อยละ 87.01 นอกจากนี้ ร้อยละ 75 ของความต้องการพลังงานทั้งหมดโดยระบบสามารถนำกลับมาใช้ผลิตก๊าซมีเทนธรรมชาติ ส่งผลให้ในการจัดหาพลังงานที่เฉพาะเจาะจงลดลง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโมเดล Gompertz เหมาะสำหรับการประเมินก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนรวมถึงอัตรา ผลการศึกษาพบว่า การย่อยสลายไม่ใช้อากาศแห้งแบบกึ่งต่อเนื่องของเศษอาหารที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นตัวเลือกที่น่าเชื่อถือ และมีเสถียรภาพ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการลดของแข็ง และการนำพลังงานกลับมาใช้ผ่านทางก๊าซชีวภาพ”

Rajagopal, Bellavance และ Rahaman (2016) ได้ศึกษา “การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศที่อุณหภูมิต่ำ แบบกึ่งแห้ง ของเศษอาหารจากขยะมูลฝอยชุมชน กรณีศึกษา อเมริกาเหนือ การจัดการขยะมูลฝอยอินทรีย์ชุมชนในทางด้านเศรษฐกิจจัดเป็นความท้าทาย ความโดดเด่นในพื้นที่

เขตขาวและพื้นที่สูงอุณหภูมิสามารถต่ำสุดถึง 20 องศาเซลเซียส จุดประสงค์ของงานวิจัยคือการปรับปรุงการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของเศษอาหาร ที่มีหรือไม่มีมูลสัตว์ในต้นทุนที่ต่ำ ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ sequence batch ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส การใส่วัตถุดิบที่มีความหลากหลายตั้งแต่ร้อยละ 37-13 ส่วนใหญ่จะตรวจสอบความเสถียรของกระบวนการย่อยสลายที่มีความเหมาะสมสำหรับสถานการณ์ที่แตกต่างกัน และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เพิ่มขึ้นจาก 0.8 ถึงค่าสูงสุดของ 4.2 กก.ของแข็งระเหยง่าย/ลบ.ม.วัน ผลการศึกษาพบว่า การผลิตก๊าซมีเทนจากส่วนผสมของเศษอาหาร มีความเป็นไปได้ที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ และผลิตก๊าซมีเทนอย่างเฉพาะเจาะจง เมื่อนำอัตราการโหลดไปใช้กับเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 225 อัตราการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนลดลงเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น การผลิตก๊าซมีเทนมีความต่อเนื่องในช่วงร้อยละ 64–69 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของก๊าซมีเทนดี และค่อนข้างคงที่ ผลการวิจัยแนะนำว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบ sequence batch ที่ 20 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพในการรักษาพลังงานความร้อน และในเวลาเดียวกันก็ผลิตก๊าซมีเทนในสภาวะเมโซฟิลิคและเทอร์โมฟิลิคที่เหมาะสม แนวคิดนี้มีความสำคัญสำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวที่การผลิตพลังงานค่อนข้างจำกัด”

Goossensen, (2017) ได้ศึกษา “การย่อยสลายขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศในอัมสเตอร์ดัม งานวิจัยนี้ได้มุ่งนั้นศึกษาในเมืองและพื้นที่ใกล้เคียงในอัมสเตอร์ดัม ที่ Wildemanbuurt จากการสัมภาษณ์บริษัทใน Wildemanbuurt เพื่อรวบรวมข้อมูลของขยะมูลฝอยในท้องถิ่น พบว่า Wildemanbuurt สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 28 ตัน/ปี และปุ๋ยหมัก 199.9 ตัน/ปี จากขยะมูลฝอยอินทรีย์ 399.8 ตัน/ปี ซึ่งการมีส่วนร่วมของประชาชนมีความสำคัญต่อระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ จนกระทั่งตอนนี้ผู้คนใน Wildemanbuurt ได้แสดงให้เห็นถึงแรงจูงใจที่ทำให้โครงการนี้ประสบความสำเร็จ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ ความสมัครใจที่ลงทุนด้านเทคโนโลยี ความพร้อมของทักษะ รวมไปถึงความรู้”

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมูลฝอย พบว่าเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเหมาะสำหรับขยะมูลฝอยอินทรีย์ ซึ่งพบมากที่สุดในขยะมูลฝอยรวมในประเทศไทย และค่าความชื้นของขยะมูลฝอยที่สูง มีความคุ้มทุน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ เทคโนโลยีเตาเผาเหมาะกับขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ง่าย และเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากฝังกลบขยะมูลฝอย เป็นการลุงทุนที่ต่ำ แต่ผลิตก๊าซมีเทนได้น้อย อย่างไรก็ตามการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมต้องมีการพิจารณาในหลายด้าน ทั้งด้านเศรษฐศาสตร์

ด้านสังคม และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงองค์ประกอบของขยะมูลฝอย และความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

จากงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่า การจัดการขยะมูลฝอยมีความแตกต่างกันตามชนิด และองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ซึ่งการมีส่วนร่วมของประชาชนในการแยกขยะมูลฝอยที่สามารถรีไซเคิลออกก่อนนำไปกำจัดด้วยวิธีอื่นๆ มีความสำคัญมากที่สุด นอกจากนี้พบว่าไม่นิยมนำเศษอาหารไปเผา เพราะจะทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกระหว่างการเผา จึงนิยมนำไปย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศมากกว่า จากการศึกษาพบว่า การย่อยแบบไม่ใช้อากาศ การเปลี่ยนสภาพเป็นแก๊ส หรือพลังงานไบโอดีเซล เป็นตัวเลือกที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม แต่ต้องคำนึงถึงชนิด องค์ประกอบของขยะมูลฝอย ความเป็นไปได้ในการใช้นี้ ความพร้อมของทักษะและความรู้ และระบบที่มี นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนแตกต่างกันด้วย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง กรณีศึกษา เทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา ได้ศึกษารวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ซึ่งรูปแบบการวิจัยเป็นแบบผสมผสาน (Mixed-Method Research) โดยศึกษาทั้งข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Method) และข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Method) เพื่อให้ได้เนื้อหาที่ครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 วิธีการศึกษา

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสาร หนังสือ บทความ งานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยของแต่ละเทศบาล เช่น แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่รับเข้ามากำจัดที่เทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน วิธีการกำจัดขยะมูลฝอย องค์ประกอบของขยะมูลฝอย พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพ รายรับรายจ่ายในการดำเนินงาน ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอย

3. กำหนดช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง ให้ครอบคลุมทั้ง 3 ฤดูกาล เพื่อให้ทราบถึงความแปรผันขององค์ประกอบขยะมูลฝอย และพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละฤดูกาลของทั้ง 2 เทศบาล เพราะข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอย และพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพมีความสัมพันธ์กับฤดูกาล ขอข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอย เพื่อนำมาเขียนสมดุลมวลของระบบ และขอข้อมูลรายรับรายจ่ายจากแต่ละเทศบาล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่แต่ละเทศบาลผลิตได้ รวมถึงทำแบบสัมภาษณ์เชิงลึกผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดการศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยทั้ง 2 แห่ง ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการจัดการขยะมูลฝอยในอนาคต

4. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอย พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพ ข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอย รายรับรายจ่ายในการดำเนินงาน และแบบสัมภาษณ์เชิงลึก

5. เสนอแนะแนวทางปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

3.2.1 การหาองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบมีการผสมกัน ควรทำการสุ่มตัวอย่างอย่างมีระบบ เพื่อให้ได้องค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่เป็นตัวแทนของขยะมูลฝอยทั้งหมด เนื่องจากขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณมาก และมาจากหลายส่วน ผู้วิจัยจึงทำการใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบแต่ละแห่งมาหาสัดส่วน และทำการตวงขยะมูลฝอยจากรถบรรทุกขยะมูลฝอยหลายคัน และหลายๆ จุดที่มาเทกองในบริเวณจุดรับขยะมูลฝอยให้ได้ประมาณ 1 m^3 ดังนั้นจึงกำหนดวิธีศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนโดยวิธีการแบ่งขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) โดยนำตัวอย่างที่สุ่มได้มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน และทำการแยกเป็น 4 ส่วน เลือกตัวอย่าง 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้าม จนเหลือตัวอย่างขยะมูลฝอย 20 ลิตร และมาทำการแยกประเภทอย่างละเอียด ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย

สามารถเผาไหม้ได้	ไม่สามารถเผาไหม้ได้
- พลาสติก เช่น ถุงพลาสติกใส ถุงพลาสติกขุ่น ขวดพลาสติก โฟม และ ฟองน้ำ	- โลหะ
- ยาง	- แก้ว
- กระดาษ	- กระเบื้อง
- เศษอาหาร เศษผักผลไม้ เศษไม้	- ขยะมูลฝอยอันตราย เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอร์รี่ หลอดไฟฟ้า
- เปลือกหอย กระดูก	
- เศษผ้า	
- ผ้าอนามัย ผ้าอ้อม	
- วัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร	

การคำนวณองค์ประกอบของขยะมูลฝอย สามารถคำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

$$C_i = \frac{W_i \times 100}{W}$$

โดย Ci = ร้อยละองค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละชนิด

Wi = น้ำหนักองค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละชนิด

W = น้ำหนักขยะมูลฝอยทั้งหมด

I = องค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละชนิด

การวิเคราะห์คุณลักษณะขยะมูลฝอย โดยทำการเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ช่วงฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ใช้วิธี Quartering ในการหาองค์ประกอบขยะมูลฝอย ซึ่งแบ่งประเภทของขยะมูลฝอยได้ดังดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 หาองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย วันที่...../...../.....

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	น้ำหนัก (kg)	สัดส่วน (%)
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)		
2. กระดาษ		
2.1 กระดาษขาว (รวม)		
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์		
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้		
3.พลาสติก		
3.1 PP (หลอดกาแฟ ถุงร้อน กระบอกฉีดยา)		
3.2 HDPE (ขวดน้ำขุ่น ขวดแชมพู ขวดนม)		
3.3 PVC (ขวดน้ำใส ขวดน้ำมันพืช)		
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)		
3.5 EPS (โฟม)		
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม ตลับยา)		
4. แก้ว		
4.1 แก้วใส		
4.2 แก้วสีชา		
4.2 แก้วสีเขียว		
5. โลหะ		
5.1 อลูมิเนียม		
5.2 เหล็ก		
5.3 ทองแดง/ทองเหลือง		
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้		
7. ยาง		
8. เศษผ้า		
9. หนัง		
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน		
10.1 ถ่านไฟฉาย		
10.2 หลอดไฟ		
10.3 ยา		
11. อื่นๆ		
11.1 ผ้าอ้อม		
รวม		
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย(กิโลกรัม/ลิตร)		

3.2.2 การคำนวณความหนาแน่นปกติ

เพื่อให้ทราบความหนาแน่นของขยะมูลฝอยในภาชนะ ซึ่งจะมีการอัดกระแทกเพียงเล็กน้อย โดยสุ่มตัวอย่างมาตวงด้วยภาชนะที่จัดเตรียมไว้ถังขนาด 50 ลิตร ยกให้สูงจากพื้น 30 ซม. และปล่อยกระแทกกับพื้น 3 ครั้ง หากปริมาตรของขยะมูลฝอยลดต่ำกว่าระดับ ให้เติมขยะ มูลฝอยเพิ่มจนได้ระดับที่ใช้วัด จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้มาคำนวณดังสมการ (วินัย มีแสง, 2562) ต่อไปนี้

$$D = \frac{W_1 - W_2}{V}$$

โดย D = ความหนาแน่นปกติ (Bulk Density),

W_1 = น้ำหนักขยะมูลฝอยสดและน้ำหนักภาชนะตวง

W_2 = น้ำหนักภาชนะตวง, V = ปริมาตรภาชนะตวงขยะมูลฝอยขนาด 50 ลิตร

การวิเคราะห์คุณลักษณะขยะมูลฝอย ทำโดยการเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยของแต่ละที่ โดยจะนำปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดมาหาสัดส่วนเผื่อใช้ในการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะเก็บทั้งหมด 3 ช่วงฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างขององค์ประกอบขยะมูลฝอย โดยใช้การแบ่งขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2.3 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

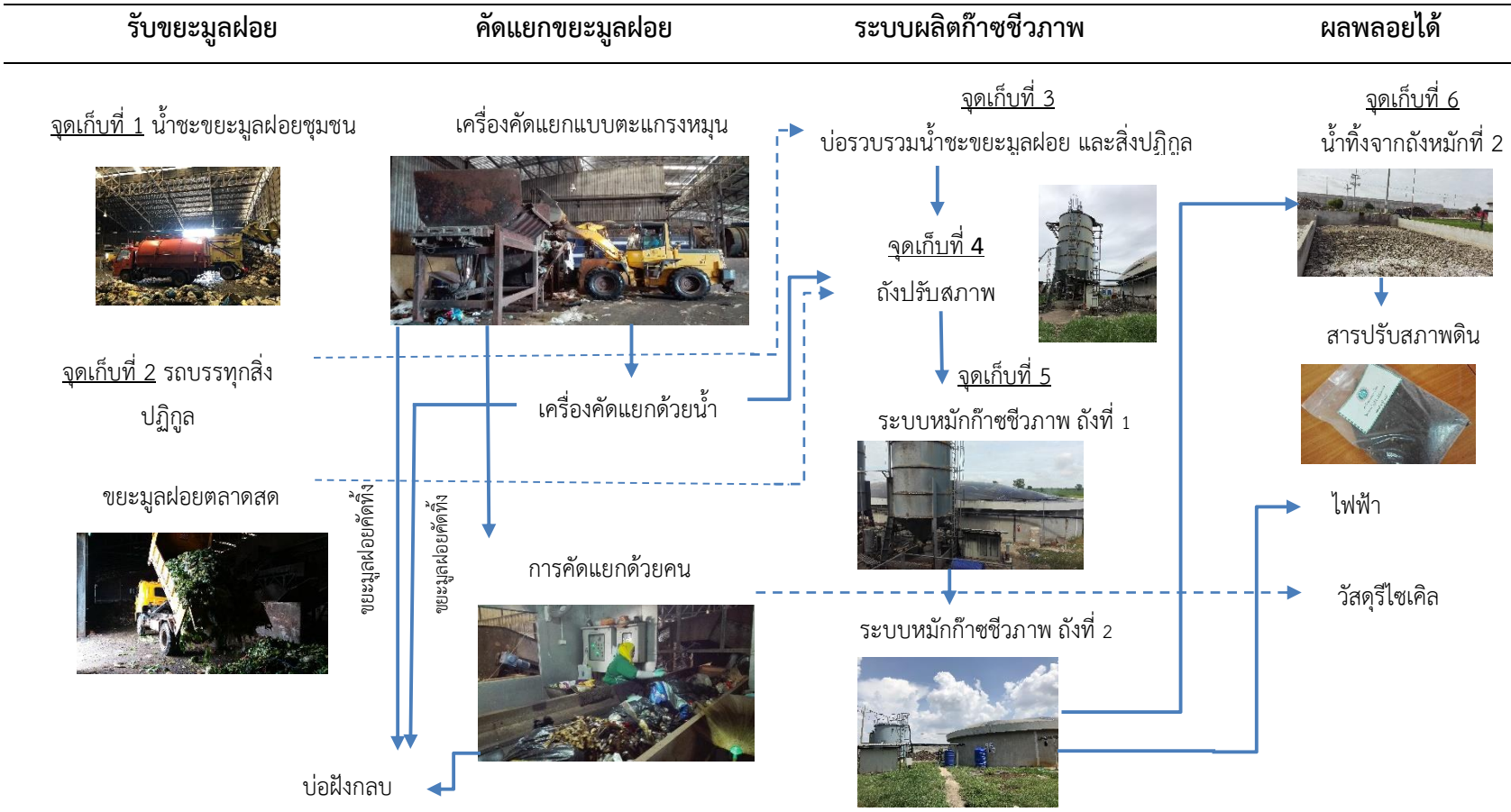
พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ พีเอช, อุณหภูมิ, ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alk) , ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD), ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งระเหยง่าย (VS), และ กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ใช้วิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AHPHA, AWWA and WEF, 2012) ดังตารางที่ 3-3 โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างผู้วิจัยได้ทำการส่งวิเคราะห์กับบริษัทรับวิเคราะห์น้ำเสีย

ตารางที่ 3-3 วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของขยะมูลฝอย

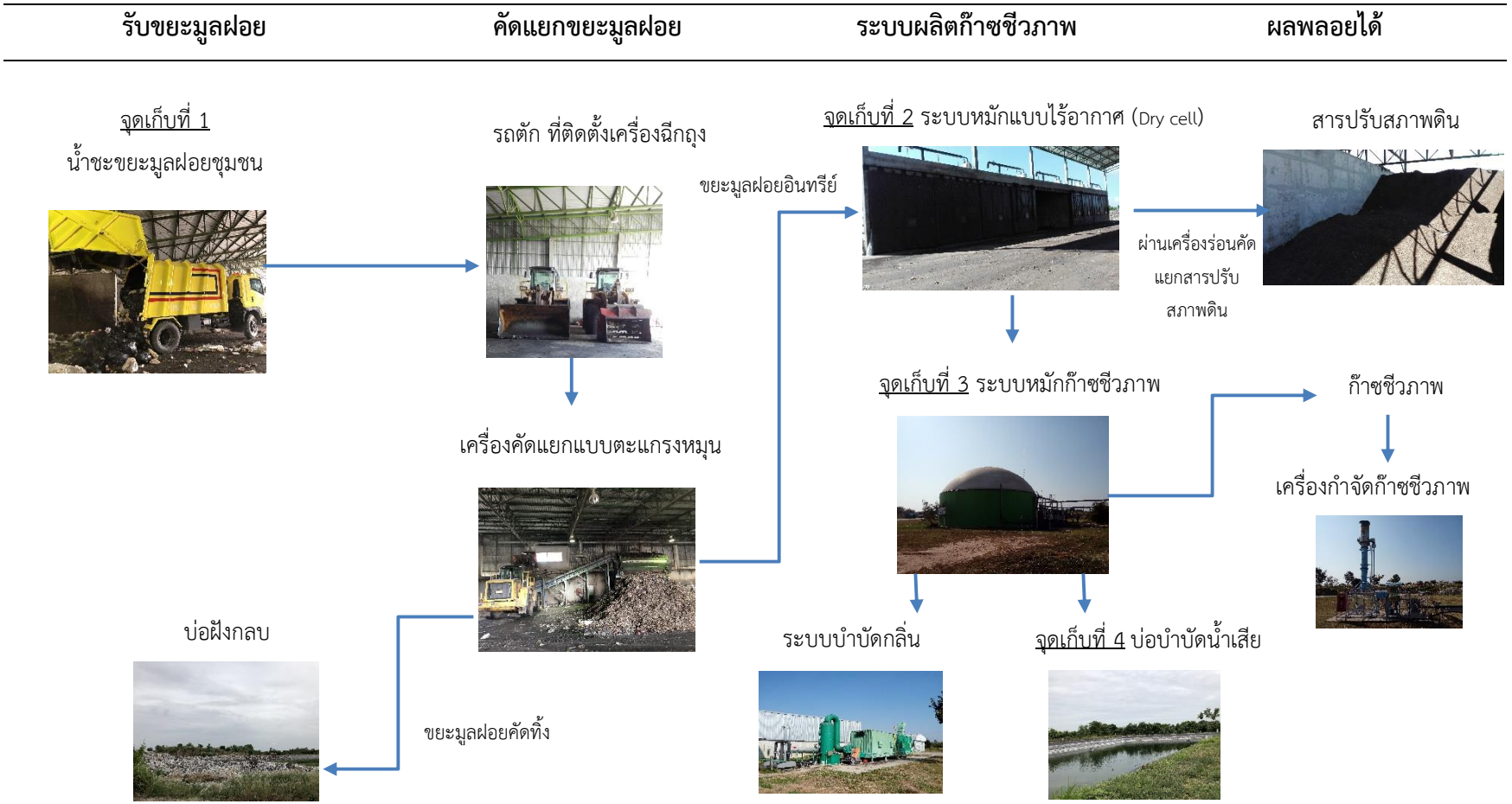
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	pH meter
อุณหภูมิ	Thermometer
สภาพความเป็นด่าง	Titrimetric method
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	Total Solids Dried at 103-105°C
ของแข็งระเหยง่าย	Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
กรดไขมันระเหยง่าย	Titrimetric method
ซีโอดี	Close reflux, titration Titrimetric method

ที่มา: AHPHA, AWWA and WEF, (2012)

จุดที่ทำการจัดเก็บพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จะแสดงดังภาพที่ 3-1 และภาพที่ 3-2 ตามลำดับ ความถี่ที่จัดเก็บจะแบ่งเป็น 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ช่วงต้นเดือนพฤษภาคม ฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคม และฤดูหนาว ช่วงเดือนพฤศจิกายน



ภาพที่ 3-1 จุดเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เทศบาลนครนครราชสีมา



ตารางที่ 3-2 จุดเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เทศบาลตำบลสูงเนิน

3.2.4 การวิเคราะห์สมดุลมวล (Mass Balance)

การวิเคราะห์สมดุลมวลสาร ของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจัดเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตขั้นต้นตามมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 ซึ่งทำการศึกษาในส่วนของสมดุลมวลของเส้นทางกระบวนการผลิตวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้หลักการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis : MFA) ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์การไหลของวัตถุดิบที่เข้าและออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (Wikanda, 2017) ซึ่งเป้าหมายในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบ และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับใช้วางแผนการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งการวิเคราะห์การไหลของวัสดุเป็นเครื่องมือที่ช่วยบริหารการจัดการสิ่งแวดล้อมได้อยากมีระบบ และเป็นทางเลือกในการประกอบการตัดสินใจของผู้ประกอบการ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร องค์กรมหาชน, 2561) ขอบเขตของการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการรับขยะมูลฝอย ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ สารปรับสภาพดินที่ผลิตได้ รวมไปถึงการกำจัดกากของเสียที่เหลือ โดยเก็บรวบรวมจากเอกสารของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยทั้ง 2 แห่ง และการสัมภาษณ์ผู้ดูแลระบบ

3.2.5 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ มีวัตถุประสงค์คือเปรียบเทียบจำแนกต้นทุนที่ใช้ในการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเบื้องต้น ผลตอบแทนที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ โดยแบ่งทำการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของต้นทุนในการดำเนินงานและผลตอบแทน ของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน รายละเอียดของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3-6 และตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-4 ต้นทุนในการเดินระบบและผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลนครนครราชสีมา

รายการต้นทุนของโครงการ	**รายการผลประโยชน์ของโครงการ**
1.ต้นทุนคงที่ - ฟื้นฟูบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยเดิม - งานก่อสร้างดินคันกั้นขยะมูลฝอยบ่อฝังกลบ - งานก่อสร้างบ่อฝังกลบ - งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย - งานภูมิสถาปัตย์ ปลูกต้นไม้บริเวณบ่อฝังกลบ - งานก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียจากบ่อฝังกลบและระบายน้ำฝน - งานก่อสร้างรั้ว ประตูทางเข้า ป้ายโครงการ - งานระบบไฟฟ้า - งานจัดหาและติดตั้งเครื่องจักร - งานก่อสร้างถนนและคันดิน - งานปลูกต้นไม้ - งานก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียและระบายน้ำฝนกลุ่มอาคาร - งานระบบประปาในพื้นที่โครงการ - งานก่อสร้างถังหมักขยะอินทรีย์ขั้นที่ 1 - งานก่อสร้างถังหมักขยะอินทรีย์ขั้นที่ 2 - งานก่อสร้างลานตากตะกอน - งานก่อสร้างแท่นคอนกรีตเครื่องจักร - งานก่อสร้างเสาธงชาติ	1.ผลตอบแทนโครงการ - ค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะมูลฝอย - การจำหน่ายกระแสไฟฟ้า - รายได้จำหน่ายขยะมูลฝอยในบ่อฝังกลบ (เริ่มในปี 2561)

ตารางที่ 3.4 ต้นทุนในการเดินระบบและผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

รายการต้นทุนของโครงการ	รายการผลประโยชน์ของโครงการ
- งานลานล้างรถ	
- งานก่อสร้างอาคารคัดแยกมูลฝอย	
- งานก่อสร้างอาคารหมักปุ๋ย	
- งานก่อสร้างอาคารป้อมยาม	
- งานก่อสร้างอาคารเครื่องชั่ง	
- งานก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุง	
- งานระบบไฟฟ้า	
- งานจัดหาและติดตั้งเครื่องจักรระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์	
2. ต้นทุนแปรผัน	
- เจ้าหน้าที่บริหารจัดการและผู้เชี่ยวชาญ	
- เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานสนับสนุน	
- แรงงานสนับสนุน	
- ค่าสวัสดิการ	
- ค่าโทรศัพท์	
- ค่าใช้จ่ายวัสดุสิ้นเปลืองสำนักงาน	
- ค่าสาธารณูปโภค (เครื่องมือเครื่องใช้สำนักงาน)	
- ค่าใช้จ่ายห้องปฏิบัติการ	
- ค่าเดินทางบุคลากร	
- ที่พักบุคลากรบริหาร	
- ค่าจัดทำรายงานการปฏิบัติงาน	
- ค่าใช้จ่ายในการประเมินประสิทธิภาพ	
- ค่าเช่ารถกระบะใช้ในโครงการ	

ตารางที่ 3.4 ต้นทุนในการเดินระบบและผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

รายการต้นทุนของโครงการ	รายการผลประโยชน์ของโครงการ
- ค่ารักษาความปลอดภัย	
- ค่าดูแลภูมิทัศน์ (การตัดหญ้า)	
- ค่าลูกจ้างประจำ	
- ค่าลูกจ้างชั่วคราว	
- ค่าเงินตกเบิกลูกจ้างชั่วคราว	
- เงินช่วยเหลือการศึกษาบุตร	
- เงินช่วยเหลือค่ารักษาพยาบาล	
- เงินค่าโอที	
- ค่าวัสดุเพื่อบำรุงรักษาหรือซ่อมแซม เครื่องจักร	
- ค่าวัสดุงานฝังกลบ/ก่อสร้าง	
- วัสดุสำนักงาน	
- วัสดุไฟฟ้าและวิทยุ	
- วัสดุงานบ้านและงานครัว	
- วัสดุยานพาหนะและขนส่ง	
- วัสดุวิทยาศาสตร์	
- วัสดุการเกษตร	
- วัสดุเครื่องแต่งกาย	
- วัสดุคอมพิวเตอร์	
- ค่าวัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	
- ค่าไฟฟ้า	
- ค่าจ้างเหมาบริการ	

จากตารางที่ 3-4 เป็นรายการต้นทุนการดำเนินระบบ โดยประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน และผลตอบแทนของโครงการของเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งอ้างอิงจากเทศบาลนครนครราชสีมา

ตารางที่ 3-5 ต้นทุนการดำเนินระบบ และผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลตำบลสูงเนิน

รายการต้นทุนของโครงการ	**รายการผลประโยชน์ของโครงการ**
1. ต้นทุนคงที่	1.ผลตอบแทนโครงการ
- งานภายนอกอาคาร	- ค่าธรรมเนียมการเก็บขนขยะมูลฝอย
- อาคารรับและบำบัดขยะมูลฝอยส่วนหน้า	
- ห้องย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ	
- ถังปฏิกิริยา	
- อาคารหมักปุ๋ยอินทรีย์	
- อาคารเครื่องชั่ง	
- อาคารสำนักงาน	
- งานก่อสร้างบ่อฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล	
- เครื่องจักรระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	
- ระบบควบคุม (PCL) และอุปกรณ์ประกอบ	
- Valve และอุปกรณ์ประกอบ	
2. ต้นทุนแปรผัน	
- เงินเดือนข้าราชการ	
- ค่าจ้างพนักงานจ้าง	
- ค่าจ้างเหมาพนักงานรักษาความปลอดภัย	
- ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซม	
- ค่าอะไหล่รถยนต์ ยางรถยนต์ แบตเตอรี่	
- ค่าวัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	
- ค่าติดตั้งผ้าม่าน	

ตารางที่ 3-5 ต้นทุนการดำเนินระบบ และผลตอบแทนของโครงการ เทศบาลตำบลสูงเนิน (ต่อ)

รายการต้นทุนของโครงการ	รายการผลประโยชน์ของโครงการ
- ค่าครุภัณฑ์สำนักงาน เครื่องทะลวงท่อ	
- ค่าน้ำประปา	
- ค่าไฟฟ้า	
- ค่าวัสดุงานบ้านงานครัว	
- วัสดุสำนักงาน	

จากตารางที่ 3-5 เป็นรายการต้นทุนการดำเนินระบบ โดยประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน และผลตอบแทนของโครงการของเทศบาลตำบลสูงเนิน ซึ่งอ้างอิงจากเทศบาลตำบลสูงเนิน

3.2.6 การกำหนดประชากรและการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในการทำแบบสัมภาษณ์

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้บริหารของหน่วยงานระดับท้องถิ่นที่มีหน้าที่ดูแลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร ของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Random) จากหน่วยงานท้องถิ่นในพื้นที่ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรทั้ง 2 เทศบาล จำนวน 7 คน ดังนี้

1. ระดับผู้บริหาร เทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 1 คน
2. ระดับผู้บริหาร เทศบาลตำบลสูงเนิน จำนวน 1 คน
3. เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ เทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 1 คน
4. เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ เทศบาลตำบลสูงเนิน จำนวน 1 คน
5. ที่ปรึกษาโครงการเทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 1 คน
6. ผู้ดูแลระบบศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา จำนวน 1 คน
7. ผู้ดูแลระบบศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน จำนวน 1 คน

จำนวนรวมคน 7 คน

โดยผู้วิจัยได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง จากหลักเกณฑ์ 2 ประการ ดังนี้

1. เป็นบุคคลซึ่งมีความรู้ความเข้าใจระบบ หรือการปฏิบัติงานของหน่วยงานระดับท้องถิ่นของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยที่ตนเองสังกัดอยู่

2. เป็นบุคคลซึ่งมีอำนาจหน้าที่ในการตัดสินใจ หรือสั่งการ ในการวางแผนการปฏิบัติงานของหน่วยงานระดับท้องถิ่นของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยที่ตนเองสังกัดอยู่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบบสัมภาษณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบบสัมภาษณ์เป็นข้อมูลปฐมภูมิ ในการสัมภาษณ์ผู้ให้สัมภาษณ์ทั้ง 7 คน จะมีการบันทึกเสียงการสัมภาษณ์ด้วยความเต็มใจและความยินยอมในการบันทึกเสียงสัมภาษณ์ ประกอบกับการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลร่วมด้วย ซึ่งผู้สัมภาษณ์และผู้ให้สัมภาษณ์สามารถเพิ่มเติมและขยายความในคำตอบมากกว่าคำถามที่กำหนดได้

ความเที่ยงตรงของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีการทดสอบคุณภาพเครื่องมือเพื่อหาความเที่ยงตรง (Validity) โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1.1) นำแบบสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเสนอคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบความถูกต้องของภาษา ความชัดเจนของภาษา แล้วนำมาปรับปรุงตามที่คณะกรรมการแนะนำ ดังภาคผนวก ก

1.2) นำแบบสัมภาษณ์ที่ผ่านการแก้ไขปรับปรุงตามที่คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แนะนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence : IOC) ซึ่งมีเกณฑ์ในการพิจารณาให้คะแนน ดังนี้ (ประจักษ์ ปฏิทัศน์, 2559)

ให้	1	เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์
	0	เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่
	-1	เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

นำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนี IOC โดยใช้สูตรของ Rovinelli and Hambleton (1977, P 49-60)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

โดยที่ IOC เป็นค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์

$\sum R$ เป็นผลรวมคะแนนการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ

N เป็นจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

โดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณาระดับค่าดัชนี IOC ของข้อคำถามที่ได้มาจากการคำนวณจากสูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 ซึ่งรายละเอียดของเกณฑ์การพิจารณา มีดังนี้

ค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป สามารถนำข้อคำถามนั้นไว้ใช้ได้

ค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาปรับปรุง หรือตัดทิ้ง

สำหรับผู้เชี่ยวชาญที่ทำการพิจารณาความเที่ยงตรงของข้อคำถามมีจำนวน 3 ท่าน จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ดังภาคผนวก ข

1.3) นำแบบสัมภาษณ์ที่ปรับปรุงแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อตรวจสอบอีกครั้ง

สำหรับแบบสัมภาษณ์ ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยดัดแปลงการวิเคราะห์ข้อมูลของ สมภพ แจ่มจันทร์ (2550) ดังนี้

1. ผู้วิจัยถอดเทปที่ได้จากการสัมภาษณ์และบันทึกข้อมูลโดยละเอียด

2. ผู้วิจัยอ่านบทบันทึกการสัมภาษณ์ เพื่อทำความเข้าใจในประเด็นที่กำลังศึกษา

3. ผู้วิจัยทำการตีความจากข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์แต่ละคน โดยที่ให้ความหมายและลดทอนสิ่งที่ได้จากผู้ให้สัมภาษณ์ให้เหลือเพียงประเด็นหลักๆ

4. ผู้วิจัยจัดหมวดหมู่ โดยนำประเด็นหลักที่คล้ายคลึงกันมารวมกัน และตัดประเด็นที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป

5. ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบประเด็นหลักที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้ของทั้ง 2 เทศบาล โดยให้ความสำคัญกับการอธิบายข้อมูลซึ่งรายงานความหมายของประสบการณ์อย่างละเอียด จากนั้นจึงสรุปประเด็นหลักทั้งหมดเพื่อให้เห็นภาพเชิงลึกของประสบการณ์ของผู้ให้สัมภาษณ์ที่ทำการศึกษา

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 ลักษณะข้อมูล

1. ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ การวิจัยจากเอกสาร หนังสือ บทความ งานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบัน เทคโนโลยีที่ใช้กำจัดขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน ปัญหาในการกำจัดขยะมูลฝอย และแบบสัมภาษณ์ เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงสภาพปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานในระดับผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ ที่ปรึกษาโครงการ และผู้ดูแลระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน

2. ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ การเก็บข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอย พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพจากภาคสนาม และศึกษาจากบทความวิชาการ หนังสือ งานวิจัย และฐานข้อมูลต่างๆ เพื่อประกอบข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบฟอร์มสำหรับจดบันทึกข้อมูล เช่น ปริมาณน้ำหนักขยะมูลฝอย จุดที่ทำการสำรวจ พารามิเตอร์ที่เก็บตามจุดสำรวจต่างๆ เป็นต้น

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ เช่น เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 60 กิโลกรัม เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 15 กิโลกรัม และเครื่องชั่งน้ำหนัก 200 กรัม พลั่ว ถุงมือ ผ้าใบ หน้ากากอนามัย รองเท้าบูท ถุงสำหรับใส่ขยะมูลฝอย ขวดสำหรับบรรจุน้ำชะขยะมูลฝอยเพื่อส่งวิเคราะห์ แบบสัมภาษณ์รายบุคคล เป็นต้น

3.3.3 วิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลองค์ประกอบขยะมูลฝอย นำไปวิเคราะห์หาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สถิติทางคณิตศาสตร์

2. ถอดเทปบันทึกเสียงที่ได้จากการสัมภาษณ์และบันทึกข้อมูลที่ได้โดยละเอียด ลดทอน ตัดเอาเฉพาะประเด็นหลักๆ มารวมกัน เพื่อสรุปตามประเด็นของแนวคำถามในการพรรณนาเชิงอธิบาย

3. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาสนับสนุนกับเนื้อหาที่ได้จากการศึกษาในเชิงคุณภาพ และปริมาณ

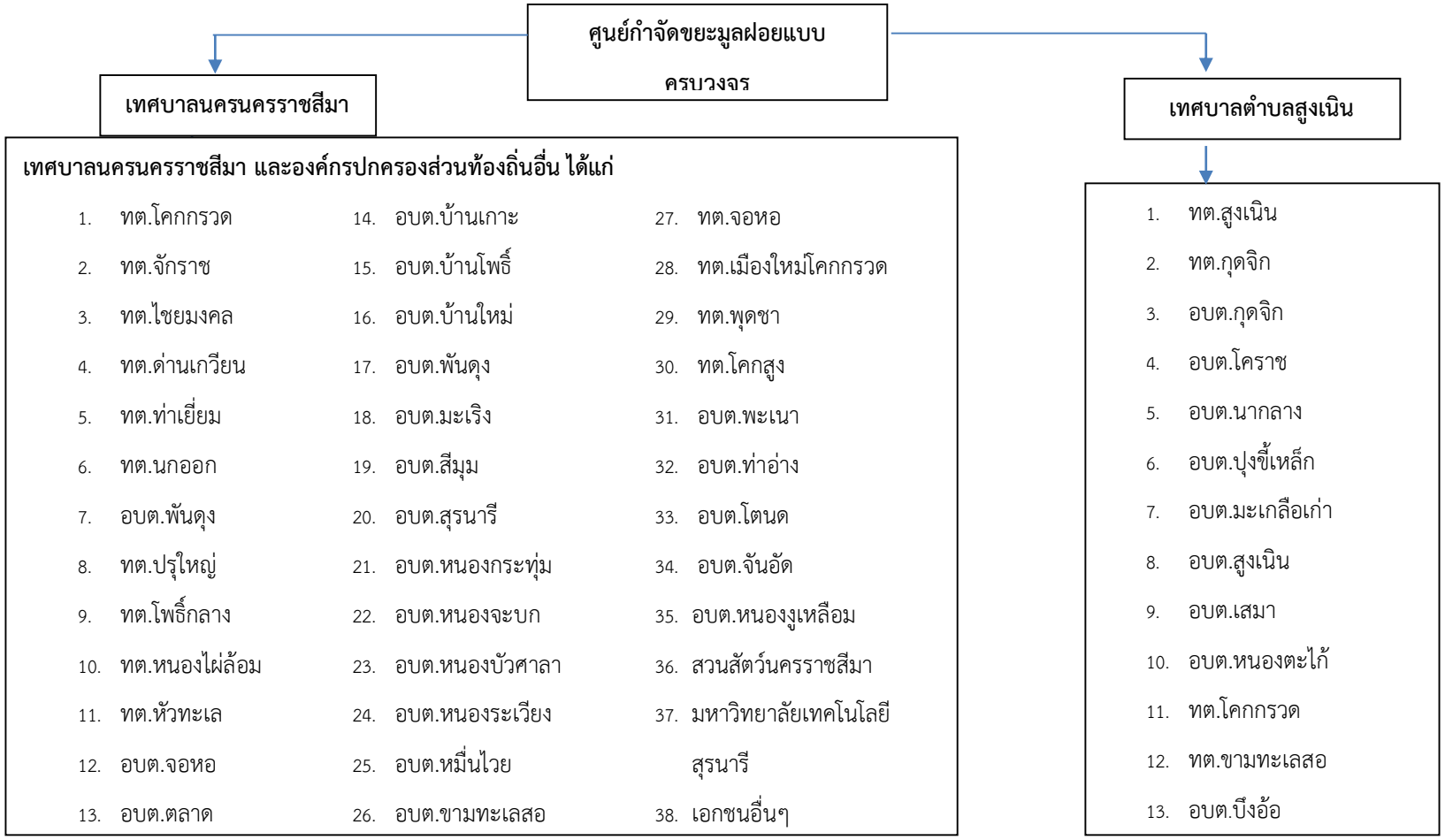
บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยแบบเปียกและแห้ง กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

4.1 คุณลักษณะของขยะมูลฝอย

ในการศึกษา สำรวจคุณลักษณะขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา โดยศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอยจะทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งเดือนพฤศจิกายน เป็นตัวแทนฤดูหนาว ต้นเดือนพฤษภาคม เป็นตัวแทนฤดูร้อน และเดือนกรกฎาคม เป็นตัวแทนฤดูฝน วิเคราะห์ทั้งหมด 3 ฤดูกาล ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ซึ่งแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมานั้น คนละส่วนกับเทศบาลตำบลสูงเนิน แสดงได้ดังแผนภาพที่ 4-1 ส่วนการศึกษาคุณลักษณะทางด้านเคมีจะทำการวิเคราะห์ 1 ซ้ำ ต่อฤดูกาล วิเคราะห์ทั้งหมด 3 ฤดูกาล



ภาพที่ 4-1 แหล่งที่มาของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรของเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา เนื่องจากขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่เข้ามากำจัด เป็นขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา เทศบาลตำบล และองค์กรบริหารส่วนตำบล ซึ่งไม่รวมขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลสูงเนิน แสดงดังตารางที่ 4-1

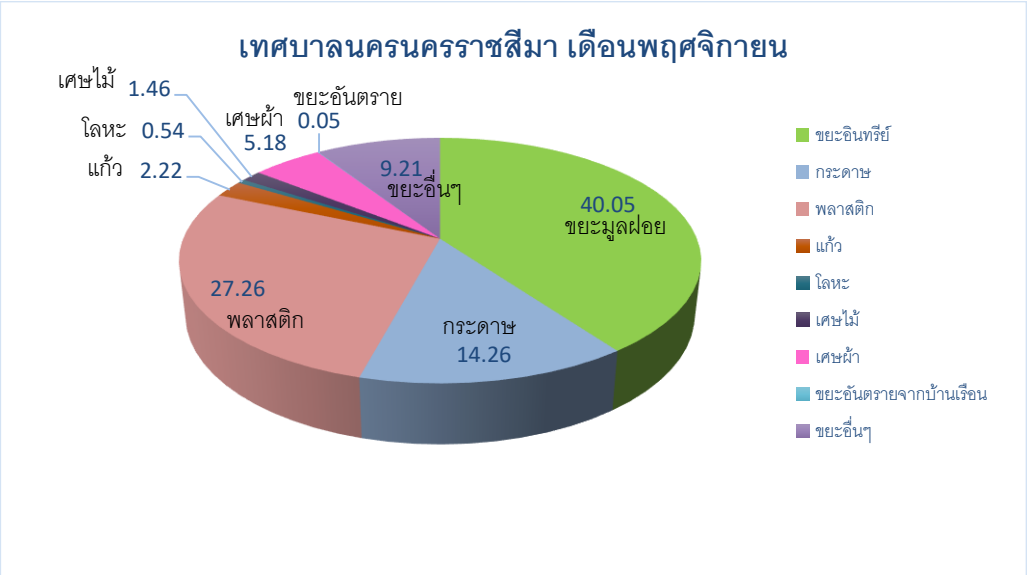
ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	43.30	30.85	45.99	40.05
2. กระดาษ				
2.1 กระดาษขาว (รวม)	10.68	22.63	4.51	12.61
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์				
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้	1.06	0.72	3.18	1.65
3.พลาสติก (รวม)	3.74	1.11	3.00	2.62
3.1 PP (หลอดกาแฟ ถุงร้อน กระบอกฉีดยา)	27.36			9.12
3.2 HDPE (ขวดน้ำขาวขุ่น ขวดแชมพู ขวดนม)		1.39		0.46
3.3 PVC (ขวดน้ำดื่มใส ขวดน้ำมัน ขวดน้ำผลไม้ ถุง)		21.18	20.86	14.01
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)		0.50		0.17
3.5 EPS (โฟม)				
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม)	1.18	0.79	0.67	0.88
4. แก้ว				
4.1 แก้วใส	1.43	3.22	0.62	1.76
4.2 แก้วสีชา		1.39		0.46
4.2 แก้วสีเขียว				
5. โลหะ				
5.1 อลูมิเนียม	0.57	0.81	0.35	0.58
5.2 เหล็ก				

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5.3 ทองแดง/ทองเหลือง				
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	1.12	0.19	3.07	1.46
7. ยาง				
8. เศษผ้า	2.78	5.68	7.09	5.18
9. หนัง				
10. ของเสียอันตรายจาก				
บ้านเรือน				
10.1 ถ่านไฟฉาย				
10.2 ยา	0.16			0.05
11. อื่นๆ				
11.1 ผ้าอ้อม	6.62	9.46	7.49	7.86
11.2 ถ่านไม้ ดิน			3.16	1.05
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย				
(kg/L)	0.45	0.48	0.47	0.47

สำรวจหาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤศจิกายน ทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งมีขยะมูลฝอยอินทรีย์ประเภทเศษอาหารพบมากที่สุดเป็นร้อยละ 40.05 และรองลงมาเป็นพลาสติกเป็นคิดร้อยละ 27.26 กระดาษคิดเป็นร้อยละ 14.26 ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ (ผ้าอ้อม) คิดเป็นร้อยละ 9.21 เศษผ้าคิดเป็นร้อยละ 5.18 แก้วคิดเป็นร้อยละ 2.22 เศษไม้คิดเป็นร้อยละ 1.46 และโลหะคิดเป็นร้อยละ 0.54 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา ในฤดูร้อน (ช่วงเดือนพฤษภาคม) ดังตารางที่ 4-2

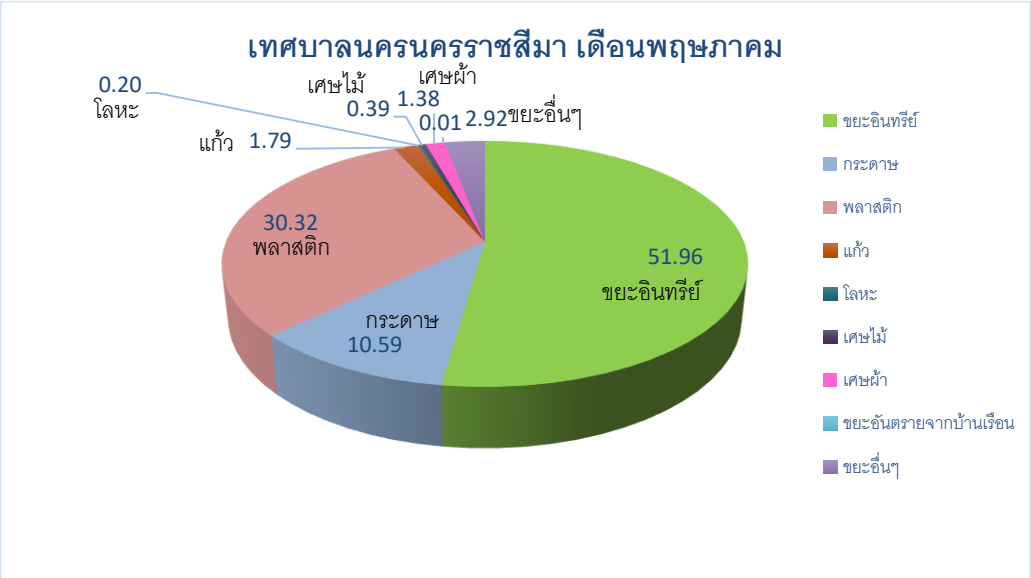
ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤษภาคม 2561

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	53.04	48.12	54.72	51.96
2. กระดาษ				
2.1 กระดาษขาว (รวม)	11.95	7.24	10.86	10.01
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์				
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้		1.71		0.57
3.พลาสติก (รวม)	10.38	5.06	3.41	6.28
3.1 PP (หลอดกาแฟ ถุงร้อน กระบอกฉีดยา)				
3.2 HDPE (ขวดน้ำขาวขุ่น ขวดแชมพู ขวดนม)				
3.3 PVC (ขวดน้ำดื่มใส ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำผลไม้ ถุง)	12.26	29.23	28.30	23.26
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)				
3.5 EPS (โฟม)	1.16	1.17	0.28	0.87
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม ตลับยา)				

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤษภาคม 2561 (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
4.1 แก้วใส	0.61	0.45	0.50	0.52
4.2 แก้วสีชา	3.01		0.70	1.24
4.2 แก้วสีเขียว				
5. โลหะ				
5.1 อลูมิเนียม	0.31	0.23	0.05	0.20
5.2 เหล็ก				
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	0.2	0.56		0.25
7. ยาง	1.21		0.40	0.54
8. เศษผ้า		3.31		1.10
9. หนัง			0.84	0.28
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน				
10.1 ถ่านไฟฉาย				
11. อื่นๆ				
11.1 ผ้าอ้อม	2.66	2.91	0.02	1.86
11.2 ดิน อิฐ	3.20			1.06
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (kg/L)	0.52	0.46	0.44	0.47

จากการสำรวจหาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมาในเดือนพฤษภาคมทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งมีขยะมูลฝอยอินทรีย์ประเภทเศษอาหารพบมากที่สุด เป็นร้อยละ 51.96 และรองลงมาเป็นพลาสติกเป็นคิดร้อยละ 30.32 กระดาษคิดเป็นร้อยละ 10.59 ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 2.92 แก้วคิดเป็นร้อยละ 1.79 เศษผ้าคิดเป็นร้อยละ 1.38 เศษไม้คิดเป็นร้อยละ 0.39 และโลหะคิดเป็นร้อยละ 0.20 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2561

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา ในฤดูฝน (ช่วงเดือนกรกฎาคม) ดังตารางที่ 4-3

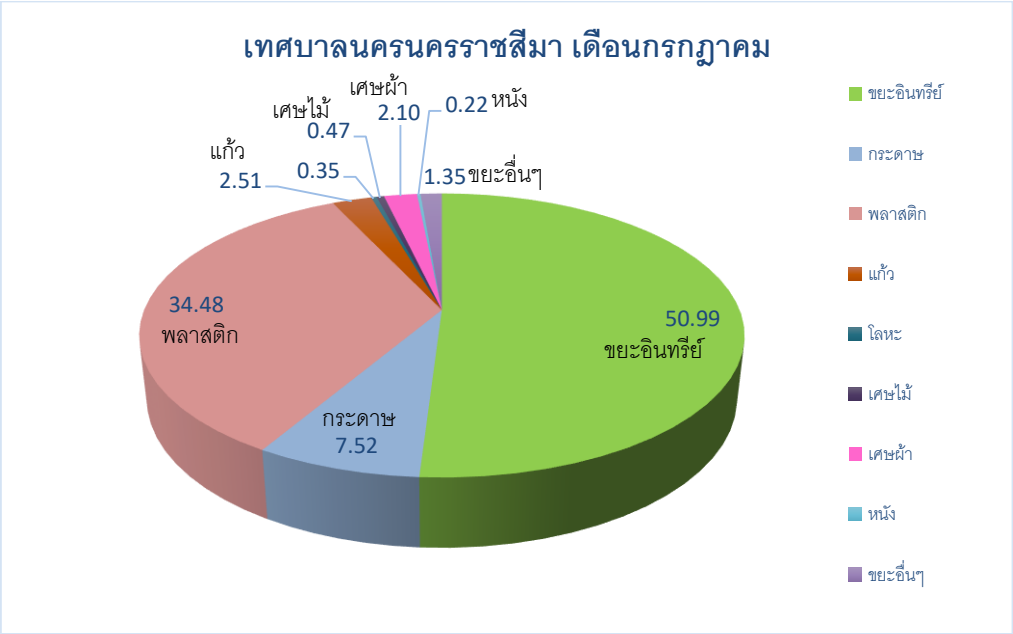
ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	52.69	48.97	51.31	50.99
2. กระดาษ				
2.1 กระดาษขาว (รวม)	4.83	9.63	6.39	6.95
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์				
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้		1.42	0.29	0.57
3.พลาสติก (รวม)	5.23	8.24	5.36	6.28
3.1 PP (หลอดกาแฟ ถุงร้อน)				
3.2 HDPE (ขวดน้ำขาวขุ่น ขวดแชมพู)				
3.3 PVC (ขวดน้ำใส ขวดน้ำมัน ถุง)	30.72	20.19	28.59	26.5
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)				
3.5 EPS (โฟม)	0.93	3.57	0.61	1.70
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม ตลับยา)				
4. แก้ว				
4.1 แก้วใส	1.56		0.57	0.71

ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
4.2 แก้วสีชา	1.39	4.02		1.80
4.2 แก้วสีเขียว				
5. โลหะ				
5.1 อลูมิเนียม	0.32	0.34	0.38	0.35
5.2 เหล็ก				
5.3 ทองแดง/ทองเหลือง				
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	0.25	0.64	0.53	0.47
7. ยาง				
8. เศษผ้า	0.99	2.25	3.06	2.1
9. หนัง	0.67			0.22
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน				
10.1 ถ่านไฟฉาย				
10.2 ยา				
11. อื่นๆ				
11.1 ผ้าอ้อม	0.42	0.74	2.09	1.08
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (kg/L)	0.45	0.47	0.48	0.47

จากการสำรวจหาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมาในช่วงเดือนกรกฎาคม ทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งมีขยะมูลฝอยอินทรีย์ประเภทเศษอาหารพบมากที่สุดเป็นร้อยละ 50.99 และรองลงมาเป็นพลาสติกเป็นคิดร้อยละ 34.48 กระดาษคิดเป็นร้อยละ 7.52 แก้วคิดเป็นร้อยละ 2.51 เศษผ้าคิดเป็นร้อยละ 2.10 ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 1.35 เศษไม้คิดเป็นร้อยละ 0.47 โลหะคิดเป็นร้อยละ 0.35 และหนังคิดเป็นร้อยละ 0.22 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561

4.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยไม่รวมกับของเทศบาลนครนครราชสีมา แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560

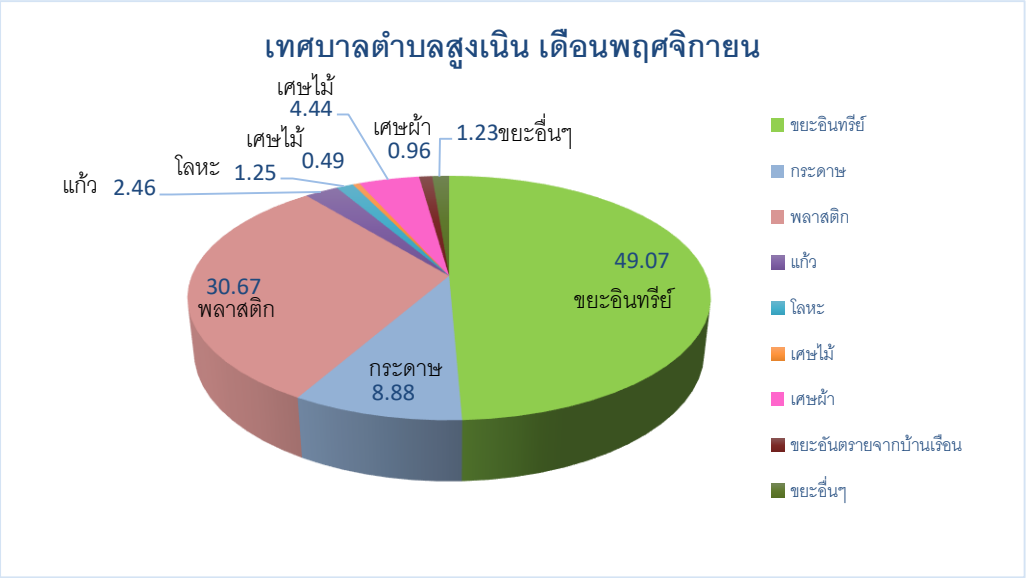
องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	42.77	50.83	53.61	49.07
2. กระดาษ				
2.1 กระดาษขาว (รวม)	10.06	6.47	7.09	7.88
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์			0.00	
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้	1.59	0.51	0.91	1.00
3.พลาสติก (รวม)	4.19	3.70	2.76	3.55
3.1 PP (หลอดกาแฟ กระบอกฉีดยา)				
3.2 HDPE (ขวดน้ำขาวขุ่น ขวดนม)				

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
3.3 PVC (ขวดน้ำดื่มใส ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำผลไม้ ถุง)	23.48	27.73	27.59	26.27
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)				
3.5 EPS (โฟม)	1.26	0.51	0.79	0.85
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม ตลับยา)				
4. แก้ว				
4.1 แก้วใส		3.70	1.97	1.89
4.2 แก้วสีชา	1.26	0.46		0.57
4.2 แก้วสีเขียว				
5. โลหะ				
5.1 อลูมิเนียม	0.84	0.88	0.32	0.68
5.2 เหล็ก	1.47	0.23		0.57
5.3 ทองแดง/ทองเหลือง				
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	0.42	0.74	0.32	0.49
7. ยาง				
8. เศษผ้า	8.39	1.39	3.55	4.44
9. หนัง		0.83		0.28
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน				
10.1 ถ่านไฟฉาย		0.42		0.14
10.2 หลอดไฟ	0.42	0.57		0.40
10.3 ยา	1.26			0.42
11. อื่นๆ				
11.1 ผ้าอ้อม, ผ้าอนามัย	0.92	1.16	1.06	1.23
11.2 ดิน อิฐ หิน				
รวม	100.00	100.00	100.00	100
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (kg/L)	0.39	0.41	0.36	0.39

จากการสำรวจหาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในฤดูหนาวทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ขยะมูลฝอยอินทรีย์ประเภทเศษอาหารพบมากที่สุดเป็นร้อยละ 49.07 และรองลงมาเป็นพลาสติกเป็นคิดร้อยละ 30.67 กระดาษคิดเป็นร้อยละ 8.88 เศษผ้าคิดเป็น

ร้อยละ 4.44 แก้วคิดเป็นร้อยละ 2.46 โลหะคิดเป็นร้อยละ 1.25 ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ (ผ้าอ้อม) คิดเป็นร้อยละ 1.23 ขยะมูลฝอยอันตรายจากบ้านเรือนคิดเป็นร้อยละ 0.96 และ เศษไม้คิดเป็นร้อยละ 0.49 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2561 แสดงได้ดังตารางที่ 4-5

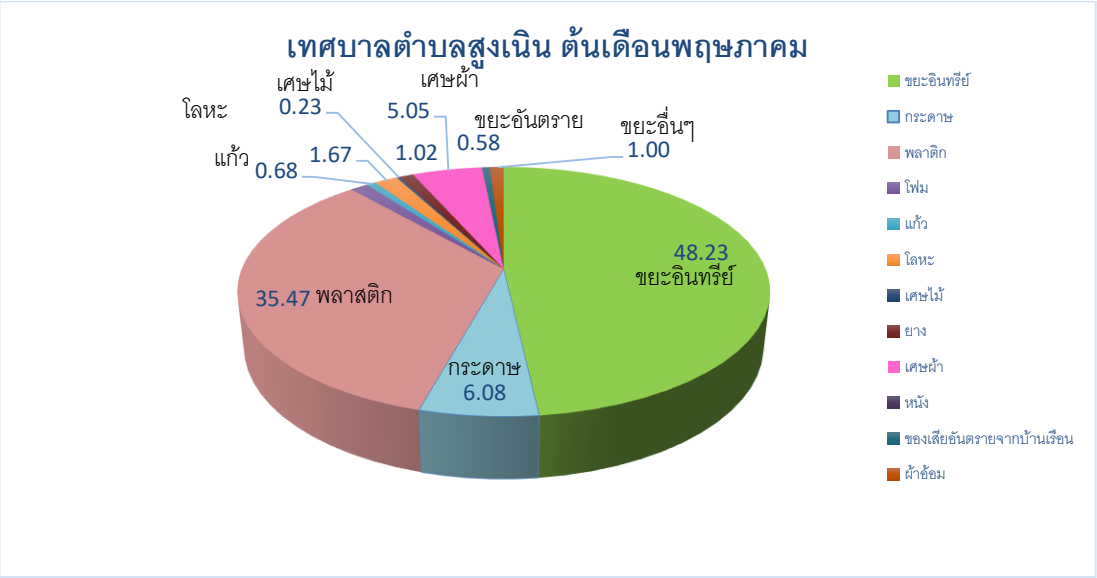
ตารางที่ 4-5 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ต้นเดือนพฤษภาคม 2561

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	45.80	36.33	62.54	48.23
2. กระดาษ				
2.1 กระดาษขาว (รวม)	3.82	8.17	6.25	6.08
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์				
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้				
3.พลาสติก (รวม)	7.63	7.27	2.08	5.66
3.1 PP (หลอดกาแฟ ถุงร้อน กระบอกฉีดยา)				
3.2 HDPE (ขวดน้ำขาวขุ่น ขวดแชมพู ขวดนม)				
3.3 PVC (ขวดน้ำดื่มใส ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำผลไม้ ถุง)	30.53	27.25	27.80	28.53
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)				

ตารางที่ 4-5 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ต้นเดือนพฤษภาคม 2561 (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
3.5 EPS (โฟม)	1.53	1.82	0.49	1.28
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม ตลับยา)				
4. แก้ว				
4.1 แก้วใส		0.91		0.3
4.2 แก้วสีชา	1.15			0.38
4.2 แก้วสีเขียว				
5. โลหะ				
5.1 อลูมิเนียม	2.29	2.72		1.67
5.2 เหล็ก				
5.3 ทองแดง/ทองเหลือง				
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	0.38	0.18	0.14	0.23
7. ยาง	3.05			1.02
8. เศษผ้า	1.53	13.62		5.05
9. หนัง				
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน				
10.1 ถ่านไฟฉาย		0.82		0.27
10.2 หลอดไฟ		0.91		0.3
11. อื่นๆ				
11.1 ผ้าอ้อม, ผ้าอนามัย	2.29		0.69	1
11.2 ดิน อิฐ หิน				
รวม	100.00	100.00	100.00	100
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (kg/L)	0.38	0.51	0.57	0.49

จากการสำรวจหาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ขยะมูลฝอยอินทรีย์ประเภทเศษอาหารพบมากที่สุดเป็นร้อยละ 48.23 และรองลงมาเป็นพลาสติกเป็นคิดร้อยละ 35.47 กระดาษคิดเป็นร้อยละ 6.08 เศษผ้าคิดเป็นร้อยละ 5.05 โลหะคิดเป็นร้อยละ 1.67 ยางคิดเป็นร้อยละ 1.02 ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ (ผ้าอ้อม) คิดเป็นร้อยละ 1.00 แก้วคิดเป็นร้อยละ 0.68 ขยะมูลฝอยอันตรายจากบ้านเรือนคิดเป็นร้อยละ 0.58 และ เศษไม้คิดเป็นร้อยละ 0.23 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2561

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในเดือนกรกฎาคม แสดงได้ดังตารางที่ 4-6

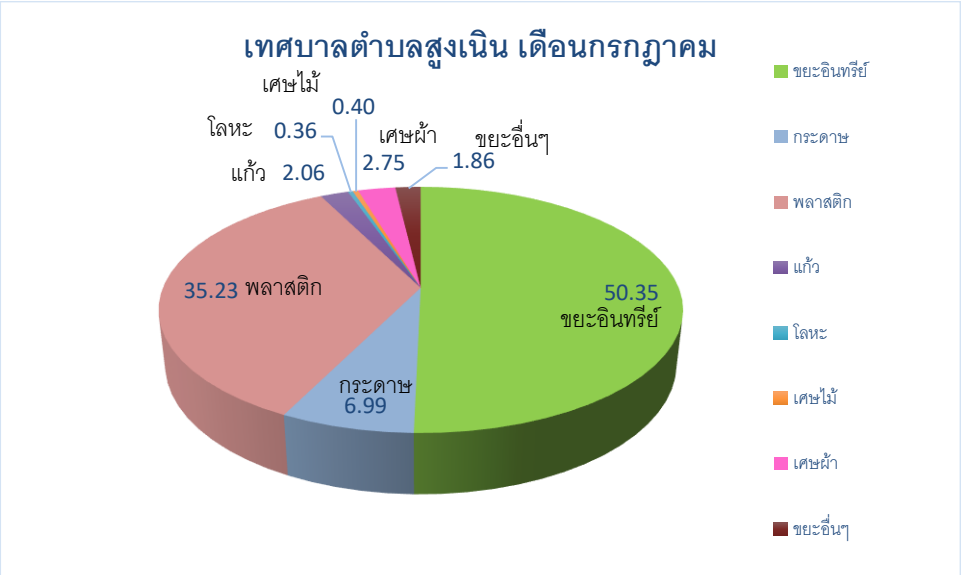
ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	54.55	47.30	49.20	50.35
2. กระดาษ				
2.1 กระดาษขาว (รวม)	5.35	5.41	8.58	6.44
2.2 กระดาษหนังสือพิมพ์				
2.3 กล่องนม น้ำผลไม้	1.07	-	0.57	0.55
3.พลาสติก (รวม)	5.35	8.11	4.58	6.01
3.1 PP (หลอดกาแฟ ถุงร้อน กระบอกฉีดยา)				
3.2 HDPE (ขวดน้ำขาวขุ่น ขวดแชมพู)				
3.3 PVC (ขวดน้ำดื่มใส ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำผลไม้ ถุง)	21.39	33.78	29.75	28.31
3.4 PS (ของเล่น ถ้วยไอศกรีม ไม่บรรทัด)				

ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 (ต่อ)

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	สัดส่วนของขยะมูลฝอย (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
3.5 EPS (โฟม)	1.60	0.68	0.46	0.91
3.6 PET (ขวดน้ำอัดลม ตลับยา)				
4. แก้ว				
4.1 แก้วใส	-	4.05	-	1.35
4.2 แก้วสีชา	2.14	-	-	0.71
4.2 แก้วสีเขียว				
5. โลหะ				
5.1 อลูมิเนียม	1.07	-	-	0.36
5.2 เหล็ก				
5.3 ทองแดง/ทองเหลือง				
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	0.53	0.68	-	0.40
7. ยาง				
8. เศษผ้า	4.81	-	3.43	2.75
9. หนัง				
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน				
10.1 ถ่านไฟฉาย				
10.2 หลอดไฟ				
11. อื่นๆ				
11.1 ผ้าอ้อม, ผ้าอนามัย	2.14	-	3.43	1.86
11.2 ดิน อิฐ หิน				
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (กิโลกรัม/ลิตร)	0.51	0.39	0.43	0.44

จากการสำรวจหาองค์ประกอบขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในช่วงเดือนกรกฎาคมทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ขยะมูลฝอยอินทรีย์ประเภทเศษอาหารพบมากที่สุด เป็นร้อยละ 50.35 และรองลงมาเป็นพลาสติกเป็นคิดร้อยละ 35.23 กระดาษคิดเป็นร้อยละ 6.99 เศษผ้าคิดเป็นร้อยละ 2.75 ขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ (ผ้าอ้อม) คิดเป็นร้อยละ 1.86 แก้วคิดเป็นร้อยละ 2.06 เศษไม้คิดเป็นร้อยละ 0.40 และโลหะคิดเป็นร้อยละ 0.36 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561

4.1.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

จากการศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากชุมชน ทั้ง 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ซึ่งเก็บในช่วงเดือนพฤศจิกายน ต้นเดือนพฤษภาคม และช่วงเดือนกรกฎาคม ตามลำดับ ของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน Mean(SD), n = 3

องค์ประกอบขยะมูลฝอย	ฤดูหนาว พฤศจิกายน (%)		ฤดูร้อน ต้นเดือนพฤษภาคม (%)		ฤดูฝน กรกฎาคม (%)	
	ทน. นครราชสีมา	ทต. สูงเนิน	ทน. นครราชสีมา	ทต. สูงเนิน	ทน. นครราชสีมา	ทต. สูงเนิน
1. ขยะมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร)	40.05(8.09)	49.07(5.63)	51.96(3.43)	48.23(13.29)	50.99(1.88)	50.35(3.76)
2. กระดาษ	14.26(8.12)	8.88(2.44)	10.59(1.45)	6.08(2.18)	7.52(3.19)	6.99(1.93)
3.พลาสติก	27.26(4.36)	30.67(1.44)	30.32(5.99)	35.47(4.72)	34.48(2.44)	35.23(7.13)
4. แก้ว	2.22(2.11)	2.46(1.51)	1.79(1.41)	0.68(0.61)	2.51(1.77)	2.06(2.03)
5. โลหะ	0.54(0.02)	1.25(1.00)	0.20(0.13)	1.67(1.46)	0.35(0.03)	0.36(0.62)
6. ไม้ เศษไม้ กิ่งไม้	1.46(1.14)	0.49(0.22)	0.39(0.18)	0.23(0.13)	0.47(0.20)	0.40(0.36)
7. ยาง	-	-	-	1.02(1.76)	-	-
8. เศษผ้า	5.18(2.19)	4.44(3.58)	1.38(1.72)	5.05(7.46)	2.10(1.04)	2.75(2.48)
9. หนัง	-	-	-	-	0.22(0.32)	-
10. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน	-	0.96(0.85)	-	0.57(0.99)	-	-
11. อื่นๆ	9.21(5.15)	1.23(0.25)	2.92(2.92)	1.00(1.17)	1.35(1.35)	1.86(0.52)
รวม	100	100	100	100	100	100
ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย (กก./ลิตร)	0.47(0.01)	0.39(0.03)	0.47(0.04)	0.49(0.10)	0.47(0.02)	0.44(0.06)

จากตารางที่ 4-7 ร้อยละองค์ประกอบขยะมูลฝอยในฤดูต่างๆ ของทั้งสองเทศบาล พบว่าขยะมูลฝอยอินทรีย์ในฤดูหนาวน้อยกว่าฤดูร้อนและฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าในฤดูผลไม้ ขยะมูลฝอยอินทรีย์จำพวกเปลือกผลไม้ที่เหลือจากการบริโภคมีปริมาณเยอะกว่าในฤดูหนาว และในช่วงฤดูหนาวอากาศจะค่อนข้างแห้งและเย็น เมื่อเทียบกับฤดูร้อนที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของขยะมูลฝอยค่อนข้างง่ายทำให้น้ำหนัก และความหนาแน่นมากกว่า ส่วนฤดูฝนขยะมูลฝอยที่เข้ามาจะค่อนข้างชื้น ส่งผลให้น้ำหนักของขยะมูลฝอยอินทรีย์และความหนาแน่นของขยะมูลฝอยโดนรวมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ เสรีย์ ตู้ประกาย (2553) ในรายวิชาวิศวกรรมขยะมูลฝอย และการจัดการของเสียอันตราย ซึ่งกล่าวว่า การกำเนิดขยะมูลฝอยในช่วงฤดูหนาวจะมีปริมาณต่ำ และจะเพิ่มขึ้นในช่วงที่มีอากาศร้อนขึ้น และลักษณะประเภทพืช ผัก ผลไม้ จะเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ในส่วนของพลาสติกในฤดูฝนจะมีร้อยละน้ำหนักที่มากกว่าทุกฤดู เนื่องจากถุงพลาสติกมีความชื้นสูงเพราะฝนที่ตก ถังใส่ขยะ

มูลฝอยไม่มีฝาปิดทำให้น้ำฝนปนกับขยะมูลฝอยชนิดต่างๆ รวมถึงถุงพลาสติกด้วย ส่วนฤดูร้อนขยะมูลฝอยอินทรีย์เกิดการเน่าเสียได้ง่าย ทำให้เกิดน้ำเสียที่มาจากขยะมูลฝอยปะปนรวมกับถุงพลาสติก ส่งผลให้ร้อยละของพลาสติกในฤดูร้อนมากกว่า เมื่อเทียบกับฤดูหนาวที่เกิดการเน่าเสียของขยะมูลฝอยน้อยกว่า

จากตารางพบว่าร้อยละองค์ประกอบขยะมูลฝอยในฤดูต่างๆ ของทั้ง 2 เทศบาล มีขยะมูลฝอยอินทรีย์มากที่สุด รองลงมาเป็นพลาสติก และกระดาษ เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการสำรวจและประเมินระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนและระบบกำจัดขยะมูลฝอยประจำปี 2559 ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 นครราชสีมา ซึ่งเป็นองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ณ จุดรับขยะมูลฝอย เทศบาลนครนราชสีมา พบว่าร้อยละขององค์ประกอบขยะมูลฝอยที่ได้มีความสอดคล้องกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 39.74 รองลงมาเป็นขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก 33.51 ประเภทกระดาษ 8.46 แก้ว 5.43 และขยะมูลฝอยประเภทอื่น ๆ ตามลำดับ และองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ณ จุดรับขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน พบว่าร้อยละขององค์ประกอบขยะมูลฝอยที่ได้มีความสอดคล้องกันซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 58.40 รองลงมาเป็นขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก 24.89 ประเภทกระดาษ 9.39 และขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ ตามลำดับ

ความแตกต่างขององค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่รับเข้ามากำจัดในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ดังสัมภาษณ์นายบุญเหลือ เจริญวัฒน์ กล่าวว่า

“...ขยะมูลฝอยที่เข้ามากำจัดที่เทศบาลนครนครราชสีมาประมาณ 500.00 ตัน/วัน แต่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมารองรับขยะมูลฝอยได้สูงสุดเพียง 230.00 ตัน ทำให้เกิดขยะมูลฝอยตกค้างสะสม ปัจจุบันมีขยะมูลฝอยตกค้างสะสมถึง 4–5 แสนตัน” (นายบุญเหลือ เจริญวัฒน์ รองนายกเทศมนตรีเทศบาลนครนครราชสีมา, สัมภาษณ์วันที่ 22 สิงหาคม 2561)

อีกทั้งบทสัมภาษณ์ของนายนคร กิติพูลธนากร กล่าวถึงปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลสูงเนิน ดังนี้

“เทศบาลตำบลสูงเนินปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้ามากำจัดมีประมาณ 60.00–70.00 ตัน/วัน ซึ่งศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลสูงเนินสามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ถึง 150.00 ตัน/วัน” (นายนคร กิติพูลธนากร นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลสูงเนิน, สัมภาษณ์วันที่ 21 สิงหาคม 2561)

4.1.4 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำชะขยะมูลฝอยจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมาในช่วงเดือน พฤศจิกายน ซึ่งเป็นตัวแทนฤดูหนาว สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง					
	ก่อนเข้าระบบหมัก				ระหว่างหมัก	หลังเข้าระบบหมัก
	น้ำชะขยะมูลฝอย	สิ่งปฏิกูล	บ่อรวบรวม	ถังปรับสภาพ	ถังหมัก	น้ำทิ้งจากระบบ
พีเอช	5.0	8.0	5.0	6.0	8.0	8.0
อุณหภูมิ	19.0°C	23.0°C	23.0°C	25.0°C	29.0°C	31.0°C
สภาพความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	<1	842	1,944	1,920	1,872	1,521
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	35,574	1,172	18,502	13,914	5,080	3,128
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	23,360	340	9,360	7,590	1,720	1,030
กรดไขมันระเหยง่าย (mg/L)	7,375	350	2,750	2,300	250	225
ซีโอดี (mg/L)	78,883	1,020	25,179	56,733	1,594	1,116

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมาในต้นเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นตัวแทนฤดูร้อน แสดงได้ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2561

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง					
	ก่อนเข้าระบบหมัก				ระหว่างหมัก	หลังเข้าระบบหมัก
	น้ำชะขยะมูลฝอย	สิ่งปฏิกูล	บ่อรวบรวม	ถังปรับสภาพ	ถังหมัก	น้ำทิ้งจากระบบ
พีเอช	4.0	7.0	6.0	6.0	8.0	8.0
อุณหภูมิ	28.0°C	28.0°C	29.0°C	29.0°C	31.5°C	32.5°C
สภาพความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	<1	909	1,107	1,062	1,026	1,805
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	29,566	1,518	8,438	10,462	5,590	3,538
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	21,844	640	3,616	5,418	2,002	404
กรดไขมันระเหยง่าย (mg/L)	8,775	275	3,950	3,575	325	200
ซีโอดี (mg/L)	47,712	2,545	8,429	9,542	4,692	501

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมาในเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นตัวแทนฤดูฝน แสดงได้ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เทศบาลนครนครราชสีมา ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง					
	ก่อนเข้าระบบหมัก				ระหว่างหมัก	หลังเข้าระบบหมัก
	น้ำชะขยะมูลฝอย	สิ่งปฏิกูล	บ่อรวบรวม	ถังปรับสภาพ	ถังหมัก	น้ำทิ้งจากระบบ
พีเอช	5.5	7.5	6.5	6.5	8.0	8.0
อุณหภูมิ	30 °C	27.0 °C	29.0 °C	28.0 °C	30.0 °C	30.0 °C
สภาพความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	<1	375	1,530	1,197	1,245	1,078
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	66,858	1,432	19,702	7,086	4,876	5,944
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	45,506	782	13,396	3,300	1,284	2,004
กรดไขมันระเหยง่าย (mg/L)	15,950	200	1,375	1,700	250	325
ซีโอดี (mg/L)	87,120	2,534	24,394	8,950	1,584	2,534

4.1.5 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำชะขยะมูลฝอยจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นตัวแทนฤดูหนาว แสดงได้ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง			
	ก่อนเข้าระบบหมัก	ระบบหมัก		หลังเข้าระบบหมัก
	น้ำชะขยะมูลฝอย	ห้องหมักแบบแห้ง	ถังหมัก	
พีเอช	4.0	8.0	7.0	8.0
อุณหภูมิ	24.0°C	26.5°C	25.5°C	23.0°C
สภาพความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	<1	16,290	3,177	774
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	33,276	31,058	4,090	2,558
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	19,590	12,120	680	400
กรดไขมันระเหยง่าย (mg/L)	8,025	11,875	900	150
ซีโอดี (mg/L)	14,343	18,805	1,116	446

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินในเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นตัวแทนฤดูร้อน แสดงได้ดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2561

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง			
	ก่อนเข้าระบบหมัก	ระบบหมัก		หลังเข้าระบบหมัก
	น้ำชะขยะมูลฝอย	ห้องหมักแบบแห้ง	ถังหมัก	
พีเอช	5.0	8.0	8.0	9.0
อุณหภูมิ	31.0°C	33.5 °C	32.0°C	32.0 °C
สภาพความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	<1	9,045	4,149	1,614
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	45,794	12,680	7,596	4,760
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	18,378	3,044	1,270	125
กรดไขมันระเหยง่าย (mg/L)	11,675	725	350	125
ซีโอดี (mg/L)	63,616	6,839	2,068	302

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน ในเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นตัวแทนฤดูฝน แสดงได้ดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เทศบาลตำบลสูงเนิน ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง			
	ก่อนเข้าระบบหมัก	ระบบหมัก		หลังเข้าระบบหมัก
	น้ำชะขยะมูลฝอย	ห้องหมักแบบแห้ง	ถังหมัก	
พีเอช	4.0	6.0	7.5	8.0
อุณหภูมิ	31.5 °C	33.0°C	32.0 °C	29.0 °C
สภาพความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	<1	12,160	1,644	855
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	55,836	42,186	6,038	4,146
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	36,578	20,934	850	716
กรดไขมันระเหยง่าย (mg/L)	12,200	19,575	175	150
ซีโอดี (mg/L)	237,500	47,520	1,584	451

จากการศึกษาพบว่าค่าซีโอดีของแต่ละฤดูกาลโดยเฉพาะช่วงเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นตัวแทนฤดูฝน ค่าซีโอดีที่เก็บได้มีค่าสูงกว่าฤดูกาลอื่นๆ สาเหตุอาจเนื่องมาจากผู้วิจัยสุ่มเก็บตัวอย่างจากรถบรรทุกขยะมูลฝอยคนละคัน แต่ละคันมาจากคนละสถานที่ และความแตกต่างของฤดูกาลทำให้ค่าซีโอดีที่ได้มีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง

4.1.6 เปรียบเทียบปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยในกระบวนการหมักของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

ค่าพีเอช

ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ระหว่าง 7.0–7.2 ซึ่งระบบที่มีความเสถียรจะมีพีเอช อยู่ระหว่าง 6.8–8.0 โดยค่าพีเอช ที่เก็บได้จากระบบในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ของเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 8.0 ทั้ง 3 ฤดู ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน ค่า pH ในห้องหมักแบบแห้ง มีค่าเท่ากับ 8.0, 8.0 และ 6.0 ส่วนค่าพีเอชในระบบถังหมัก มีค่าพีเอชเท่ากับ 7.0, 8.0 และ 7.5 ค่า พีเอชที่ได้จากทั้ง 2 เทศบาลอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ยกเว้นค่าพีเอชของห้องหมักแบบแห้ง

ที่มีค่าเท่ากับ 6.0 สาเหตุอาจเป็นเพราะอยู่ในช่วงแรกของกระบวนการที่แบคทีเรียสร้างกรดจำนวนมาก ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง (ผจงสุข สุธารัตน์ และคณะ, 2560)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยแบบไร้อากาศ ซึ่งแบคทีเรียเมโซฟิลิก ทำงานได้ดีที่ 20.0–45.0 องศาเซลเซียส และเหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 37.0–41.0 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เก็บได้จากระบบในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ของเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 29.0 องศาเซลเซียส, 31.5 องศาเซลเซียส และ 30.0 องศาเซลเซียส ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน อุณหภูมิในห้องหมักแบบแห้งมีค่าเท่ากับ 26.5 องศาเซลเซียส, 33.5 องศาเซลเซียส และ 33 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในระบบถังหมัก มีค่าเท่ากับ 25.5 องศาเซลเซียส, 32.0 องศาเซลเซียส และ 32.0 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จากทั้ง 2 เทศบาลอยู่ในช่วงที่แบคทีเรียเมโซฟิลิกทำงานได้ดี สาเหตุที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.5–33.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากแบคทีเรียในถังหมักเป็นเมโซฟิลิก ซึ่งพบได้มากกว่าเทอร์โมฟิลิก และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า ส่งผลให้ระบบมีความเสถียรมากกว่า

ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

จากการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าซีโอดีก่อนเข้าระบบ (COD_{in}) ก่อนผลิตก๊าซชีวภาพของเทศบาลนครนครราชสีมา มาจากถังปรับสภาพ ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนินมาจากน้ำชะขยะมูลฝอยที่ออกมาจากห้องหมักแบบแห้ง และค่าซีโอดีหลังเข้าระบบ (COD_{out}) ที่เก็บหลังจากระบบหมักผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 2 เทศบาล พบว่าค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 เทศบาล แสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ซีโอดี (mg/l)		ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี
	ขาเข้า	ขาออก	
เทศบาลนครนครราชสีมา			
ฤดูหนาว	25,179	1,116	95.57
ฤดูร้อน	8,429	501	94.06
ฤดูฝน	24,394	2,534	89.61
เทศบาลตำบลสูงเนิน			
ฤดูหนาว	18,805	446	97.63
ฤดูร้อน	6,839	302	95.58
ฤดูฝน	47,520	451	99.05

จากตารางพบว่าค่าซีโอดีของแต่ละฤดูกาลแตกต่างกันมาก เนื่องจากการเก็บตัวอย่างสุ่มเก็บจากรถบรรทุกขยะมูลฝอยที่มาจากสถานที่ที่แตกต่างกัน และเก็บในฤดูกาลที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าซีโอดีที่ได้จากน้ำชะขยะมูลฝอย มีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง นอกจากนี้ในฤดูร้อนอาจจะมีอุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในน้ำชะขยะมูลฝอยสูงขึ้น ทำให้ค่าซีโอดีในฤดูร้อนมีค่าน้อยกว่าฤดูกาลอื่นๆ (ธิติสุดา พันธุรังษี., 2558) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูงทั้ง 2 แห่งแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนที่สูง แต่โดยภาพรวมประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของเทศบาลตำบลสูงเนินจะมีค่าสูงกว่าเทศบาลนครนครราชสีมาอยู่เล็กน้อย สาเหตุที่เทศบาลนครนครราชสีมามีค่าน้อยกว่าเนื่องจากมีการปรับสภาพของซีโอดีก่อนเข้าระบบ

สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) และกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA)

ค่า Alkalinity สามารถบ่งชี้ความเสถียรของระบบได้ โดยทั่วไปสภาพความเป็นด่างในระบบหมักแบบไร้อากาศควรอยู่ในช่วง 1,000–5,000 มก./ลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (Osman and Delia, 2005 อ้างใน นฤมล เซาะกระโทก, 2556) โดยค่าความเป็นด่างนั้นถูกควบคุมโดยระบบ

กรด–ด่าง ดังนั้นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานควรอยู่ในช่วง 6.8–7.2 หากค่าสภาพความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีค่าบัฟเฟอร์สูง การย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดสร้างกรดเจริญเติบโตได้เร็วกว่าการสร้างมีเทน ส่งผลให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่สร้างมีเทนในระบบได้ แต่หากมีค่าสภาพความเป็นด่างต่ำ แสดงว่าระบบมีค่าพีเอชลดลง หากค่าพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากเกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์

ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (มก./ลิตรของกรดแอซีติก) ค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-500 (นฤมล เซาะกระโทก, 2556) โดยไม่ควรเกิน 2,000 มก./ลิตร (กมลดารา เหรียญสุวรรณ และคณะศูนย์วิจัยพลังงาน, 2556)

อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่าง (VFA/Alkalinity) มีความสำคัญต่อระบบการหมักแบบไร้อากาศ เพราะเป็นค่าที่บอกถึงกำลังบัฟเฟอร์ว่าเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในระบบหรือไม่ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.4–0.8 (สุภกิจ, 2544 อ้างใน นฤมล เซาะกระโทก, 2556) หากมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีสภาพเป็นด่างซึ่งทำให้ต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH ได้ดี (McCaarty, 1986 อ้างในกมลดารา เหรียญสุวรรณ และคณะศูนย์วิจัยพลังงาน, 2556) และถ้าอัตราส่วนของ VFA/Alkalinity มากกว่า 0.8 จะทำให้ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีแทน และระบบล้มเหลวจากพิษของกรดอินทรีย์ได้ (กมลดารา เหรียญสุวรรณ และคณะศูนย์วิจัยพลังงาน, 2556)

โดยค่าสภาพความเป็นด่าง (มก./ลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต) ที่เก็บได้จากระบบในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ของเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 1,872, 1,026 และ 1,245 ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน ค่าสภาพความเป็นด่างในห้องหมักแบบแห้งมีค่าเท่ากับ 16,290, 9,045 และ 12,160 ส่วนค่าสภาพความเป็นด่างในระบบถังหมัก มีค่าเท่ากับ 3,177, 4,149 และ 1,644 ซึ่งค่าสภาพความเป็นห่างที่ได้จากทั้ง 2 เทศบาลอยู่ในช่วง1,000–5,000 มก./ลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (Osman and Delia, 2005 อ้างใน นฤมล เซาะกระโทก, 2556) ยกเว้น ค่าสภาพความเป็นด่างในห้องหมักแบบแห้งที่มีค่าเกินจากช่วงที่เหมาะสม

และค่ากรดไขมันระเหยง่าย (มก./ลิตร) ที่เก็บได้จากระบบในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ของเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 250, 325 และ 250 ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในห้องหมักแบบแห้งมีค่าเท่ากับ 11,875, 725 และ 19,575 ส่วนกรดไขมันระเหย

ง่ายในระบบถังหมัก มีค่าเท่ากับ 900, 350 และ 175 ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากทั้ง 2 เทศบาล พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 50–500 มก./ลิตร ยกเว้นค่าสภาพความเป็นด่างในห้องหมักแบบแห้งที่มีค่าเกินจากช่วงที่เหมาะสม

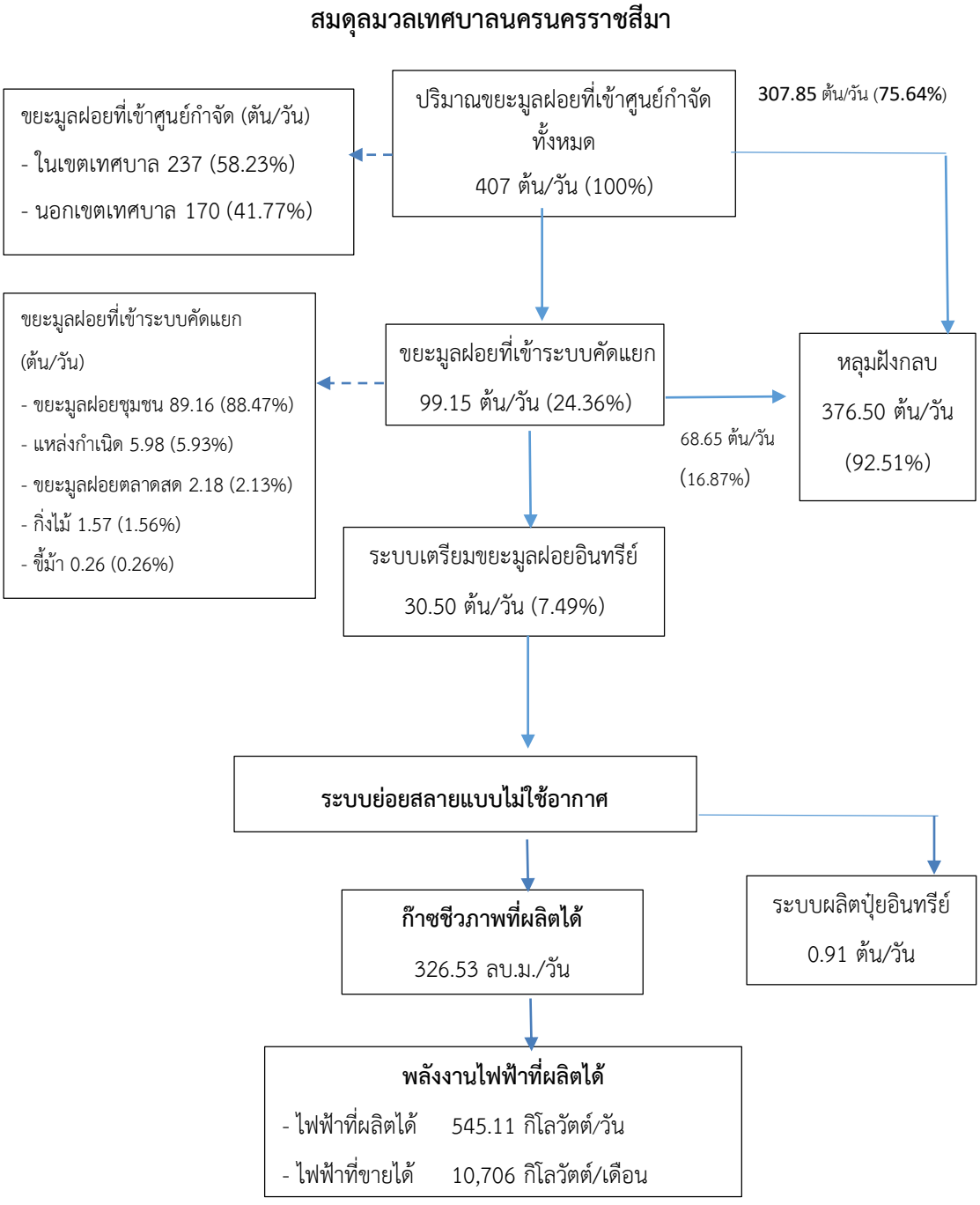
โดยอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่าง (VFA/Alkalinity) ที่เก็บได้จากระบบในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ของเทศบาลนครนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 0.13, 0.32 และ 0.20 ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน ค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในห้องหมักแบบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.73, 0.08 และ 1.61 ส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในระบบถังหมักมีค่าเท่ากับ 0.28, 0.08 และ 0.11 ค่าอัตราส่วนที่ได้จากระบบหมักของทั้ง 2 เทศบาล พบว่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่าง มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีสภาพเป็นด่างซึ่งทำให้ต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้ดี ยกเว้นค่ากรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่าง ห้องหมักแบบแห้งมีค่าเกินกว่าช่วงที่เหมาะสม สาเหตุอาจเนื่องมาจากระบบห้องหมักแบบแห้งยังไม่สมบูรณ์ส่งผลให้ค่าสภาพความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหยง่าย และกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่าง ไม่เหมาะสม อาจทำให้ระบบล้มเหลวจากพิษของกรดอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงควรจัดการปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้ลดลง และควรควบคุมระบบให้มีอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและสภาพความเป็นด่างในรูปของคาร์บอเนตให้น้อยกว่า 0.4 และไม่เกิน 0.8 (ทวินันท์ สเลอาด, 2554) และควบคุมควรมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของห้องหมักแบบแห้ง และซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ชำรุดเพื่อให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่นำเข้า (TS content) ที่เข้าสู่ระบบหมักเฉลี่ยของเทศบาลนครนครราชสีมาซึ่งเป็นระบบหมักแบบเปียกมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.49 ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนินเป็นระบบหมักแบบแห้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 28.64 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2552) ที่ระบบหมักแบบเปียกจะมีค่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่นำเข้าระหว่างร้อยละ 10–20 ส่วนระบบหมักแบบแห้งมีค่ามากกว่าร้อยละ 20

4.2 สมดุลมวล

การวิเคราะห์สมดุลมวลของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 สมดุลมวลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลนครนครราชสีมา

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ ของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลนครนครราชสีมา โดยใช้การหมักแบบไร้อากาศแบบเปียก วัสดุที่ใช้หมักได้แก่ ขยะมูลฝอยชุมชน, เศษผักผลไม้จากตลาดสด, มูลม้า, กิ่งไม้ เป็นต้น จากการวิเคราะห์สมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4-8



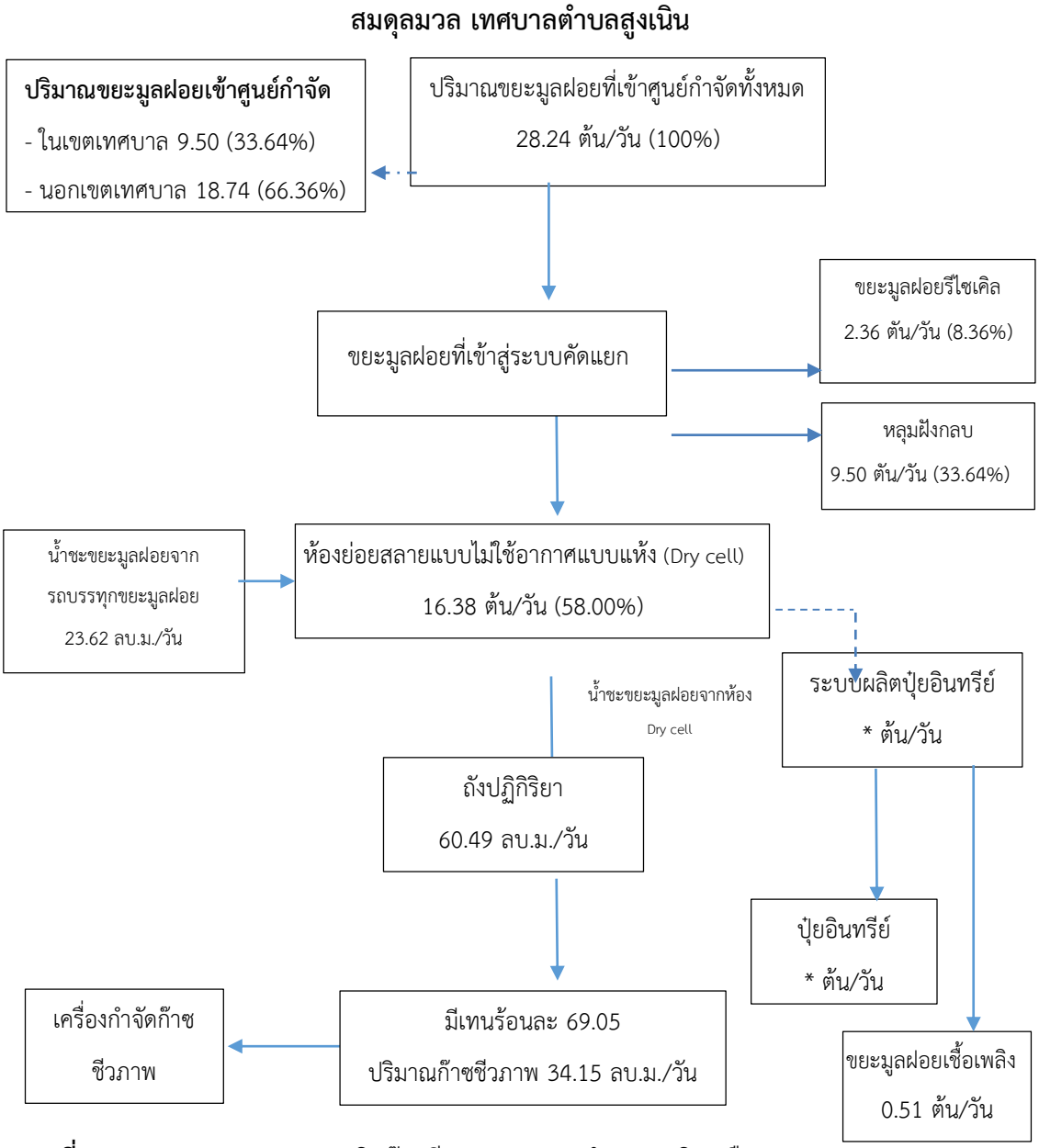
ภาพที่ 4-8 สมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีภาพ ทน.นครราชสีมา ประจำปี 2560

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่าขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดทั้งหมด 407 ตัน/วัน ซึ่งมากกว่าระบบที่ออกแบบไว้ที่สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ 230 ตัน/วัน ซึ่งสาเหตุที่ขยะมูลฝอยมีปริมาณสูงขึ้นเกิดจากการขยายตัวของเมือง ปริมาณนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้น ทำให้ขยะมูลฝอยเกินกว่าระบบที่

ออกแบบไว้ นอกจากนี้ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณน้อยกว่าปกติ เนื่องจากเครื่องคัดแยกขยะมูลฝอยแบบอุโมงค์ที่ทำการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยปกติจะมี 2 เครื่อง แต่เนื่องจากเกิดการชำรุดทำให้สามารถใช้เครื่องคัดแยกขยะมูลฝอยแบบอุโมงค์ได้เพียงเครื่องเดียว ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณลดลง ในส่วนของปริมาณไฟฟ้าที่ขายได้มีปริมาณน้อยกว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้ เนื่องจากมีการนำไฟฟ้าส่วนหนึ่งมาใช้ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งจากสมดุลมวลของเทศบาลนครนครราชสีมาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ และสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ในอนาคต

4.2.2 สมดุลมวลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลตำบลสูงเนิน

เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอยอินทรีย์ ของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรเทศบาลตำบลสูงเนิน โดยใช้การหมักแบบไร้อากาศแบบแห้ง วัสดุหลักที่ใช้ในกระบวนการหมักเป็นขยะมูลฝอยจากชุมชน จากการวิเคราะห์สมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 สมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีภาพ เทศบาลตำบลสูงเนิน เดือนกรกฎาคม 2558-พฤษภาคม 2559

หมายเหตุ : ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ * ตัน/วัน เนื่องจากไม่มีการบันทึกข้อมูลในส่วนนี้

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยไม่เกินกว่าระบบที่ออกแบบไว้ในตอนแรก ทำให้สามารถจัดการขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยต่อวันได้ทั้งหมด ไม่เกิดปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างสะสม ส่วนน้ำชะขยะมูลฝอยไม่ได้มีการนำมาใช้ในห้องหมักแบบแห้ง ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังมีปริมาณไม่มากจึงนำไปกำจัดด้วยเครื่องกำจัดก๊าซ ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีการบันทึกปริมาณข้อมูลในส่วนนี้ โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ไม่ได้นำไปจำหน่าย แต่นำไปแจกจ่ายเพื่อประชาสัมพันธ์ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งผลผลิตจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่กล่าวมา สามารถนำมาต่อยอดเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ในอนาคต

4.2.3 เปรียบเทียบสมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ของเทศบาลนครนครราชสีมาในปี 2560 พบว่า ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะมูลฝอยทั้งหมด 407 ตัน/วัน ซึ่งส่วนที่เข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ 30.50 ตัน/วัน พบว่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต จะได้ก๊าซชีวภาพผลิตได้ 326.53 ลบ.ม./วัน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 545.11 กิโลวัตต์/วัน และไฟฟ้าที่ขายได้ 10,706 กิโลวัตต์/เดือน นอกจากนี้ยังผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ 0.91 ตัน/วัน ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 10.71 ลบ.ม.

ในส่วนผลิตผลที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพของเทศบาลตำบลสูงเนิน จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ของเทศบาลตำบลสูงเนินในเดือนกรกฎาคม 2558-พฤษภาคม 2559 พบว่า ขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบกำจัดขยะมูลฝอยทั้งหมด 28.24 ตัน/วัน ซึ่งส่วนที่เข้าห้องย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้งเป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ 16.38 ตัน/วัน พบว่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตจะได้ค่ามีเทนร้อยละ 69.05 ซึ่งมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 34.15 ลบ.ม./วัน แต่เนื่องจากระบบผลิตก๊าซได้ไม่มาก จึงไม่ได้นำก๊าซชีวภาพส่วนที่ผลิตได้มาผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้พลาสติกรีไซเคิลจากการคัดแยก 2.36 ตัน/วัน ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 2.08 ลบ.ม.

จากการศึกษาพบว่า เทศบาลตำบลสูงเนินสามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้จากส่วนของถังปฏิกิริยาเท่านั้น เนื่องจากห้องหมักแบบแห้งทำหน้าที่ในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งทำให้เกิดน้ำชะขยะมูลฝอยออกมา และนำน้ำชะขยะมูลฝอยส่วนนี้เข้าสู่ถังปฏิกิริยาเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ อีกทั้ง

ยังเกิดการรั่วของก๊าซชีวภาพหากมีการเปิดห้องหมัก ถึงแม้จะเกิดก๊าซชีวภาพภายในห้องหมักก็ไม่สามารถเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพในส่วนนี้ได้เนื่องจากอุปกรณ์ชำรุด และการออกแบบห้องหมักแบบแห้ง แสดงให้เห็นว่าเทศบาลตำบลสูงเนินในห้องหมักแบบแห้งยังไม่ใช่ระบบหมักแบบแห้ง และเมื่อนำค่าของปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบที่เข้าสู่ระบบทั้ง 2 เทศบาลมาเปรียบเทียบกันแล้วแสดงให้เห็นว่า ระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบเปียกของเทศบาลนครนครราชสีมาซึ่งมีค่า 10.71 ลบ.ม. มีค่าสูงกว่าระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้งของเทศบาลตำบลสูงเนินที่มีค่า 2.08 ลบ.ม. ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของของศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2552) ที่ระบบหมักแบบเปียกมีการย่อยสลายได้มากกว่าระบบหมักแบบแห้ง แต่โดยทั่วไป กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ของขยะมูลฝอยอินทรีย์ 1 ตัน จะผลิตปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยประมาณ 100-200 ลบ.ม. (ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ, 2559) แต่จากการศึกษาพบกว่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อตันขยะมูลฝอยน้อยกว่ามาก ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการเตรียมวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 2 แห่ง ไม่เหมาะสม รวมถึงระบบถังปฏิกิริยาไม่เสถียร ทำให้ผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยกว่าทฤษฎี และสุดท้ายระบบรวบรวมผลิตก๊าซชีวภาพไม่สามารถเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมด

4.3 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วยต้นทุนในการก่อสร้างระบบในการผลิต และต้นทุนการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการของเทศบาลนครนครราชสีมา

ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลนครนครราชสีมา เป็นต้นทุนในการก่อสร้างระบบซึ่งเป็นราคากลางในการก่อสร้าง (BOQ) และต้นทุนการดำเนินงาน ซึ่งผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจขอข้อมูลจากเทศบาลนครนครราชสีมา โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-15 และตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-15 แสดงต้นทุนในการก่อสร้างระบบของเทศบาลนครนครราชสีมา

รายการ	งบประมาณ (บาท)
ต้นทุนก่อสร้างระบบ	739,215,00.00
ฟื้นฟูบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยเดิม	6,377,236.50
งานก่อสร้างดินคันกั้นขยะมูลฝอยบ่อฝังกลบ	18,629,565.00
งานก่อสร้างบ่อฝังกลบ	815,540.00
งานก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย	302,000.00
งานภูมิสถาปัตย์ ปลูกต้นไม่บริเวณบ่อฝังกลบ	4,725,515.30
งานก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียจากบ่อฝังกลบและระบายน้ำฝน	788,081.70
งานก่อสร้างรั้ว ประตูทางเข้า ป้ายโครงการ	677,300.00
งานระบบไฟฟ้า	952,000.00
งานจัดหาและติดตั้งเครื่องจักร	23,527,432.00
งานก่อสร้างถนนและคันดิน	64,000.00
งานปลูกต้นไม้	1,345,546.00
งานก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียและระบายน้ำฝนกลุ่มอาคาร	1,094,628.90
งานระบบประปาในพื้นที่โครงการ	4,832,351.40
งานก่อสร้างถังหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ขั้นที่ 1	4,613,774.50
งานก่อสร้างถังหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ขั้นที่ 2	887,596.00
งานก่อสร้างลานตากตะกอน	1,156,031.70
งานก่อสร้างแท่นคอนกรีตเครื่องจักร	70,131.20
งานก่อสร้างเสาธงชาติ	143,889.50
งานลานล้างรถ	16,217,032.70
งานก่อสร้างอาคารคัดแยกขยะมูลฝอย	3,930,083.05
งานก่อสร้างอาคารหมักปุ๋ย	201,823.40
งานก่อสร้างอาคารป้อมยาม	1,038,618.00
งานก่อสร้างอาคารเครื่องชั่ง	2,570,528.85
งานก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุง	10,851,086.25
งานระบบไฟฟ้า	194,045,789.00
งานจัดหาและติดตั้งเครื่องจักรระบบผลิตปุ๋ยอินทรีย์	73,921,500.00
รวม	373,779,081.00

ที่มา: ดัดแปลงจากราคากลางในการก่อสร้าง เทศบาลนครนครราชสีมา, (2560)

ตารางที่ 4-16 ต้นทุนในการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา

รายการ	งบประมาณ (บาท/ปี)
เจ้าหน้าที่บริหารจัดการและผู้เชี่ยวชาญ	2,628,000
เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานสนับสนุน	2,376,000
แรงงานสนับสนุน	3,148,988
ค่าสวัสดิการ	456,000
ค่าโทรศัพท์	99,030
ค่าใช้จ่ายวัสดุสิ้นเปลืองสำนักงาน	136,400
ค่าสาธารณูปโภค (เครื่องมือเครื่องใช้สำนักงาน)	176,700
ค่าใช้จ่ายห้องปฏิบัติการ	89,030
ค่าเดินทางบุคลากร	370,300
ที่พักบุคลากรบริหาร	312,400
ค่าจัดทำรายงานการปฏิบัติงาน	123,050
ค่าใช้จ่ายในการประเมินประสิทธิภาพ	1,156,700
ค่าเช่ารถกระบะใช้ในโครงการ	328,800
ค่ารักษาความปลอดภัย	300,000
ค่าดูแลภูมิทัศน์ (การตัดหญ้า)	276,000
ค่าลูกจ้างประจำ	3,034,030
ค่าลูกจ้างชั่วคราว	717,030
ค่าเงินตกเบิกลูกจ้างชั่วคราว	1,941,750
เงินช่วยเหลือการศึกษาบุตร	124,000
เงินช่วยเหลือค่ารักษาพยาบาล	68,970
เงินค่าโอที	182,280
ค่าวัสดุเพื่อบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมเครื่องจักร	5,140,134.09
ค่าวัสดุงานฝังกลบ/ก่อสร้าง	4,120,413.70
วัสดุสำนักงาน	80,246
วัสดุไฟฟ้าและวิทยุ	615,259
วัสดุงานบ้านและงานครัว	216,267
วัสดุยานพาหนะและขนส่ง	3,047,117
วัสดุวิทยาศาสตร์	1,055,842.5
วัสดุการเกษตร	356,000

ตารางที่ 4-16 ต้นทุนในการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

รายการ	งบประมาณ (บาท/ปี)
วัสดุเครื่องแต่งกาย	109,084
วัสดุคอมพิวเตอร์	49,490
ค่าวัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	5,529,305.5
ค่าไฟฟ้า	3,560,063
ค่าจ้างเหมาบริการ	2,167,525.1
รวม	44,092,204.89

ที่มา: ดัดแปลงจากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของเทศบาลนครนครราชสีมา, (2560)

4.3.2 ต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการของเทศบาลตำบลสูงเนิน

ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลตำบลสูงเนินเป็นต้นทุนในการก่อสร้างระบบซึ่งเป็นราคากลางในการก่อสร้าง (BOQ) และต้นทุนการดำเนินงาน ซึ่งผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจขอข้อมูลจากเทศบาลตำบลสูงเนิน ทำให้ทราบข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-17 และตาราง-ที่ 4-18

ตารางที่ 4-17 แสดงต้นทุนในการก่อสร้างระบบของเทศบาลตำบลสูงเนิน

รายการ	งบประมาณ (บาท)
งานภายนอกอาคาร	30,006,685.55
อาคารรับและบำบัดขยะมูลฝอยส่วนหน้า	9,644,311.58
ห้องย่อยขยะมูลฝอยอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ	10,789,177.12
ถังปฏิกิริยา	7,844,801.57
อาคารหมักปุ๋ยอินทรีย์	6,703,422.07
อาคารเครื่องชั่ง	1,203,158.50
อาคารสำนักงาน	4,147,452.52
งานก่อสร้างบ่อฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล	27,937,546.00
เครื่องจักรระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	96,071,500.00
ระบบควบคุม (PCL) และอุปกรณ์ประกอบ	15,000,000.00
Valve และอุปกรณ์ประกอบ	500,000.00
รวม	209,848,054.90

ที่มา: ดัดแปลงจากราคากลางในการก่อสร้าง เทศบาลตำบลสูงเนิน, (2560)

ตารางที่ 4-18 ต้นทุนในการเดินระบบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนิน

รายการ	งบประมาณ (บาท/ปี)
เงินเดือนข้าราชการ	859,021
ค่าจ้างพนักงานจ้าง	678,840
ค่าจ้างเหมาพนักงานรักษาความปลอดภัย	908,916
ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซม	636,283.58
ค่าอะไหล่รถยนต์ ยางรถยนต์ แบตเตอรี่	437,860
ค่าวัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	1,276,888.60
ค่าติดตั้งผ้าม่าน	77,506
อื่นๆ	128,700
ค่าครุภัณฑ์สำนักงาน เครื่องทะลวงท่อ	85,000
ค่าน้ำประปา	49,119.58
ค่าไฟฟ้า	1,010,548.74
ค่าวัสดุงานบ้านงานครัว	120,000
วัสดุสำนักงาน	58,000
รวม	6,326,683.50

ที่มา: ดัดแปลงจากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของเทศบาลตำบลสูงเนิน, (2560)

4.3.3 ต้นทุนผลกระทบภายนอก

เป็นต้นทุนที่ส่งผลกระทบด้านลบให้แก่สังคมและสิ่งแวดล้อม โดยทำให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการมีคุณภาพชีวิตที่ต่ำลง การสร้างศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร โดยการนำขยะมูลฝอยชุมชนมาคัดแยกให้ได้ขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนั้น ซึ่งในกระบวนการหมักทางชีวภาพนั้นมีกระบวนการมากมาย ซึ่งอาจก่อให้เกิดของเสีย ซึ่งเป็นจุดกำเนิดมลพิษได้ ไม่ว่าจะเป็นลานรับขยะมูลฝอย ระบบหมักก๊าซชีวภาพ ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยของเสียสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ สิ่งปนเปื้อนในน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน หรือเสียง เป็นต้น จากการกลั่นกรองผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้จากการขอข้อมูลพบว่า จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศของเทศบาลนครนครราชสีมาในบรรยากาศ เป็นเวลาต่อเนื่องทั้ง 3 วัน บริเวณปากทางเข้าศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย พบว่าค่า Total Suspended Particulate (TSP) Sulfur Dioxide (SO_2) เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมง Nitrogen Dioxide (NO_2) และ Carbon Monoxide

เฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนด ในส่วนของคุณภาพจากปล่องระบายมลพิษจากโรงเตาเผา พบว่า Total Suspended Particulate (TSP) Oxide of Nitrogen (No_x) และ Sulfur Dioxide (SO_2) มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงการ พ.ศ.2549 ส่วนระดับเสียงในบรรยากาศบริเวณรอบรั้วโครงการ พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ในส่วนของน้ำใต้ดิน บริเวณบ่อ Monitoring Well พบว่าดัชนีที่วิเคราะห์ส่วนใหญ่อยู่ในมาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัดฝังทิ้ง เคลื่อนย้าย และขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 และประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ.2543 ส่วนคุณภาพน้ำผิวดิน บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโครงการ พบว่าผลการวิเคราะห์ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จากข้อมูลที่ได้มาพบว่าทางโครงการมีการจัดการกับผลกระทบวงนอกที่อาจส่งผลต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่เป็นด้านลบได้ค่อนข้างดีและมีข้อจำกัดด้านการเก็บข้อมูล

4.3.4 ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของโครงการ

ผลผลิตของโครงการ นอกจากการกำจัดขยะมูลฝอยเป็นหลักแล้ว โครงการยังได้รับผลตอบแทนจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ได้แก่ ผลตอบแทนจากค่ากำจัดขยะมูลฝอย การจำหน่ายไฟฟ้า ดิน และเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยซึ่งผลผลิตที่ได้จากทั้ง 2 เทศบาลค่อนข้างคล้ายกัน แต่ต่างกันที่ขอบเขตอำนาจในการจำหน่ายผลผลิตที่ได้ ซึ่งเทศบาลตำบลสูงเนินผลิตก๊าซชีวภาพได้จริง แต่ยังไม่มีการนำไปผลิตไฟฟ้า สารปรับสภาพดินที่ผลิตได้ และขยะมูลฝอยในบ่อฝังกลบ ไม่สามารถนำจ่ายได้ เนื่องจากติดระเบียบของราชการ โดยรายได้หลักของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินจะได้จากการกำจัดขยะมูลฝอยเท่านั้น ซึ่งต่างจากเทศบาลนครนครราชสีมา ซึ่งมีรายได้จากการกำจัดขยะมูลฝอย การจำหน่ายไฟฟ้า การจำหน่ายขยะมูลฝอยในบ่อฝังกลบ และเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยแสดงได้ดังตารางที่ 4-19 โดยจะสรุปรวมค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินระบบ และผลตอบแทนจากโครงการ

ตารางที่ 4-19 ค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนที่ได้จากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร

ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนโครงการ	ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย	
	เทศบาลนครนครราชสีมา	เทศบาลตำบลสูงเนิน
ต้นทุนการลงทุน (บาท)	373,779,081.00	209,848,054.90
ความสามารถในการรองรับขยะมูลฝอย (ตัน/วัน)	230	50
ต้นทุนการลงทุน (บาทต่อตันขยะมูลฝอย)	1,625,126.44	4,196,961.08
ต้นทุนการเดินระบบ (บาทต่อปี)	44,092,204.89	6,326,683.50
ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบ (ตันต่อปี)	148,555.00	10,307.60
ต้นทุนการเดินระบบ (บาทต่อตันขยะมูลฝอย)	296.81	613.79
ผลตอบแทนโครงการ		
ค่ากำจัดขยะมูลฝอย	13,168,492.00	3,806,686.50
การจำหน่ายไฟฟ้า	422,515.00	-
รวมผลตอบแทนโครงการ	13,591,007.00	3,806,686.50
ผลรวมตอบแทนโครงการ (ตัน/ขยะมูลฝอย)	91.49	369.31

หมายเหตุ: ต้นทุนการลงทุน (บาท/ตันขยะมูลฝอย) = ต้นทุนในการลงทุน/ปริมาณขยะมูลฝอยรองรับ

ต้นทุนการเดินระบบ (บาท/ตันขยะมูลฝอย) = ต้นทุนการเดินระบบ/ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบ (ต่อปี)

ผลตอบแทนโครงการ (บาท/ตันขยะมูลฝอย) = รวมตอบแทนโครงการ/ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบ (ต่อปี)

จากตารางแสดงให้เห็นว่าต้นทุนการลงทุนต่อตันขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมามีค่าเท่ากับ 1,625,126.44 บาท ซึ่งต้นทุนในการเดินระบบน้อยกว่าเทศบาลตำบลสูงเนินที่มีค่า 4,196,961.08 บาท ส่วนต้นทุนในการเดินระบบต่อตันขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมามีค่าเท่ากับ 296.81 บาทต่อตันขยะมูลฝอย ซึ่งน้อยกว่าเทศบาลตำบลสูงเนินที่มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงถึง 613.79 บาทต่อตันขยะมูลฝอย ในส่วนของผลตอบแทนโครงการ เทศบาลนครนครราชสีมาโดยปกติจะมีรายได้จากการผลิตเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยด้วย แต่เนื่องจากขาดทุนจึงทำให้ปิดระบบการผลิตในส่วนนี้ไป ทำให้เหลือรายได้จากค่ากำจัดขยะมูลฝอย และการจำหน่ายไฟฟ้า รวมผลตอบแทน

โครงการได้ต่อปริมาณขยะมูลฝอยเท่ากับ 91.49 บาท ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนินนั้น มีการผลิตไฟฟ้า แต่เนื่องจากก๊าซที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยและไม่เสถียรจึงกำจัดทิ้งด้วยการเผา และสารปรับสภาพดินไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้ ทำให้รายได้มาจากค่ากำจัดขยะมูลฝอยอย่างเดียว ซึ่งได้ 369.31 บาท

4.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน และแนวทางการแก้ไขปัญหาของ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร

ผู้วิจัยได้สรุปปัญหาและอุปสรรค รวมถึงแนวทางการแก้ไขซึ่งได้จากการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรในตำแหน่งต่างๆ ทำให้เห็นความแตกต่างของปัญหาและอุปสรรคที่พบในแต่ละส่วน เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่ที่มีบริบทใกล้เคียงกันต่อไป โดยสรุปได้ดังนี้

4.4.1 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน เทศบาลนครนครราชสีมา

1. ระดับผู้บริหาร

ขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยมีปริมาณมากกว่าระบบที่ออกแบบไว้ โดยระบบออกแบบไว้เพื่อรองรับขยะมูลฝอย 230 ตัน/วัน แต่ขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบในปัจจุบันมีปริมาณสูงถึงเกือบ 500 ตัน/วัน ทำให้เกิดขยะมูลฝอยตกค้างสะสมในปริมาณมากถึง 4-5 แสนตัน ส่งผลให้บ่อฝังกลบที่ออกแบบไว้เต็มเร็วกว่ากำหนด

2. ระดับผู้ปฏิบัติการ

ขยะมูลฝอยตลาดสด และขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่คัดแยกจากแหล่งกำเนิด ไม่สามารถคัดแยกได้ตามเป้าหมาย เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคตามสภาวะทางเศรษฐกิจ และการนำขยะมูลฝอยอินทรีย์ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เนื่องจากมีขยะมูลฝอยตกค้างสะสมในปริมาณมาก ส่งผลให้ในบางฤดูกาลมีน้ำชะขยะมูลฝอยล้นจากบ่อฝังกลบ และส่งกลิ่นรบกวน นอกจากนี้เครื่องจักรที่ใช้มีวัสดุเป็นเหล็ก และทองแดง เมื่อโดนแก๊สไข่เน่า และน้ำชะขยะมูลฝอย ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนโลหะจนเป็นสนิม ทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดได้ง่าย แต่เนื่องจากระเบียบขั้นตอนของราชการ ทำให้การซ่อมบำรุงล่าช้า

4.4.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา เทศบาลนครนครราชสีมา

ในช่วงที่มีปริมาณขยะมูลฝอยปริมาณมากกว่าที่รองรับได้ ทางเทศบาลได้หยุดรับขยะมูลฝอยจากองค์กรส่วนท้องถิ่น และดำเนินการประมูลขยะมูลฝอยในบ่อฝังกลบ เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างสะสม มีการวางแผนการใช้เตาเผาแบบตะกรับ เพื่อกำจัดขยะมูลฝอยตกค้างสะสม และรองรับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต เพื่อใช้ควบคู่กับการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยระบบหมักแบบไร้อากาศที่มีอยู่ จะสามารถรองรับขยะมูลฝอยได้ 900 ตัน/วัน จากเดิมที่รองรับได้ 230 ตัน/วัน และขอความร่วมมือจากชุมชนในการคัดแยกขยะมูลฝอยที่แหล่งกำเนิด เพื่อให้สามรถเพิ่มปริมาณขยะมูลฝอยอินทรีย์เข้าสู่ระบบหมักแบบไร้อากาศได้มากขึ้น

4.4.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน เทศบาลตำบลสูงเนิน

1. ระดับผู้บริหาร

เทศบาลมีปัญหาเรื่องการจ้างบุคลากรมาดูแลระบบ ซึ่งระบบต้องใช้คนดูแล 20 คน แต่ทางเทศบาลสามารถจัดคนไปดูแลระบบได้เพียง 5 คน เท่านั้น ส่งผลให้ระบบทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และผลผลิตที่ได้จากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยจำพวกสารปรับสภาพดิน ไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้ เนื่องจากเป็นระเบียบของราชการ

2. ระดับผู้ปฏิบัติการ

เนื่องจากบุคลากรที่เข้ามาดูแลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยมีไม่เพียงพอ อีกทั้งยังขาดความชำนาญ ส่งผลให้เกิดปัญหาในการดูแลระบบ และมีขยะมูลฝอยที่ต้องกำจัดเป็นพิเศษเข้าสู่ระบบ เช่น เข็มฉีดยา ขยะอันตรายต่างๆ นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาขยะมูลฝอยอุดตันตามส่วนต่างๆ ได้แก่ ระบบดูดน้ำเสีย เครื่องร่อนขยะมูลฝอย เป็นต้น

4.4.4 แนวทางการแก้ไขปัญหา เทศบาลตำบลสูงเนิน

ทางเทศบาลได้อาศัยการร่วมมือกับภาคเอกชนเข้ามาช่วยบริหารจัดการ เพื่อลดปัญหาด้านบุคลากรที่มีไม่เพียงพอ และขาดความชำนาญการในการดูแลระบบ นอกจากนี้ควรมีการคัดแยกขยะมูลฝอยอันตรายตั้งแต่ต้นทาง และมีการติดตั้งตะแกรง เพื่อกรองขยะมูลฝอยก่อนเข้าระบบดูดน้ำเสีย และควรพัฒนาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และบำรุงดูแลรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ระบบใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการศึกษาในด้านคุณลักษณะของขยะมูลฝอย โดยการศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอย และวิเคราะห์น้ำเสียที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้ง 3 ช่วง สมดุลมวลของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย และการประเมินประเศรษฐศาสตร์โดยประเมินต้นทุนของโครงการ ผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการ จากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบขยะมูลฝอยส่วนใหญ่เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ และผลการวิเคราะห์น้ำ เหมาะสมต่อการนำขยะมูลฝอยมาผลิตก๊าซชีวภาพ จากการพิจารณาต้นทุนและผลตอบแทนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 2 เทศบาล พบว่าเทศบาลนครนครราชสีมามีค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบสูงกว่าเทศบาลตำบล สูงเนิน อีกทั้งยังมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่า นอกจากนี้ยังมีแบบสัมภาษณ์ของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และการจัดการกับปัญหาและอุปสรรคในแต่ละส่วน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยที่มีบริบทใกล้เคียงกัน ซึ่งผู้วิจัยจะสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในบนถัดไป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะสรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะแนวทางการจัดการขยะมูลฝอย เพื่อนำขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอย และสามารถนำไปประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการจัดการขยะมูลฝอย รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไป โดยมีหัวข้อดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษา สำรวจคุณลักษณะขยะมูลฝอยของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นการกำจัดโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และสารปรับปรุงดิน โดยศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยจะทำซ้ำ 3 ครั้ง ต่อฤดูกาล วิเคราะห์ทั้งหมด 3 ฤดูกาล (โดยเดือนพฤศจิกายน เป็นตัวแทนฤดูหนาว ต้นเดือนพฤษภาคม เป็นตัวแทนฤดูร้อน และเดือนกรกฎาคม เป็นตัวแทนฤดูฝน) ส่วนการศึกษาคุณลักษณะทางด้านเคมีจะทำการวิเคราะห์ 1 ซ้ำ ต่อฤดูกาล รวมถึงการเปรียบเทียบสมดุลมวล และการวิเคราะห์ต้นทุนการเดินระบบของเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. จากการศึกษาคุณลักษณะของขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 2 เทศบาล โดยวิธีการแบ่งขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) พบว่า องค์ประกอบของขยะมูลฝอยอินทรีย์ใกล้เคียงกัน แต่ต่างกันที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเทศบาลนครนครราชสีมามีปริมาณขยะมูลฝอยที่สูงกว่าเทศบาลตำบลสูงเนิน ในส่วนความแตกต่างของฤดูกาล สรุปได้ว่า ฤดูร้อนและฤดูฝนมีสัดส่วนขยะมูลฝอยอินทรีย์มากกว่าฤดูหนาว รองลงมาเป็นพลาสติกและกระดาษ จากผลการศึกษาพบว่ามีสัดส่วนขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่พบมากที่สุด ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพโดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศซึ่งเป็นวิธีที่ทั้ง 2 เทศบาลใช้อยู่

2. ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า พารามิเตอร์ทั้ง 2 เทศบาล ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูงทั้ง 2 แห่ง แต่เทศบาลตำบลสูงเนินมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบหมักของเทศบาล

นครนครราชสีมา มีการปรับสภาพก่อนเข้าสู่ระบบหมัก ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ต่ำกว่า นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของของแข็งทั้ง 2 เทศบาล สอดคล้องกับระบบหมักแบบเปียกของเทศบาลนครนครราชสีมาอยู่ในช่วงร้อยละ 10-20 และระบบหมักแบบแห้งของเทศบาลตำบลสูงเนินมากกว่าร้อยละ 20

3. เปรียบเทียบสมดุลมวลของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 2 เทศบาล พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยอินทรีย์ของเทศบาลตำบลสูงเนินเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อตันของขยะมูลฝอยอินทรีย์ของเทศบาลนครนครราชสีมามีค่าเท่ากับ 10.71 ลบ.ม. มีค่ามากกว่าเทศบาลตำบลสูงเนินที่มีค่าเพียง 2.08 ลบ.ม. แสดงให้เห็นว่าระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ก๊าซชีวภาพแบบเปียกของเทศบาลนครนครราชสีมามีค่ามากกว่าระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศแบบแห้งของเทศบาลตำบลสูงเนิน แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพของทั้ง 2 เทศบาลยังน้อยกว่าทฤษฎี

4. จากการศึกษาต้นทุนในการเดินระบบของทั้ง 2 เทศบาล พบว่า ต้นทุนในการลงทุนต่อตันขยะมูลฝอย และต้นทุนการเดินระบบต่อตันขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมามีค่าน้อยกว่าเทศบาลตำบลสูงเนิน แต่ผลตอบแทนโครงการต่อตันขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลสูงเนินมีผลตอบแทนที่มากกว่าเทศบาลนครนครราชสีมา ที่เทศบาลนครนครราชสีมามีผลตอบแทนน้อยกว่าเพราะมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้ามากำจัดเกินกว่าระบบที่ออกแบบไว้

5. จากปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นของเทศบาลนครนครราชสีมา ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพเกินกว่าที่ระบบรองรับได้ ทำให้ต้องขยายศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเพิ่มโดยการนำเทคโนโลยีการเผาแบบตะกรับเข้ามาช่วยกำจัดขยะมูลฝอย ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนินปัญหาหลักคือผู้ดูแลระบบไม่มีความชำนาญ และมีปริมาณไม่เพียงพอ ทำให้ดูแลระบบไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งในห้องหมักแบบแห้งไม่สามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพด้วย โดยเทศบาลจะให้เอกชนเข้ามาดูแลเพื่อแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ จากทั้งสองเทศบาลปัญหาที่เหมือนกันคือการคัดแยกขยะมูลฝอย เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ต้นทางส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากขยะมูลฝอยยังไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

จากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนินมีองค์ประกอบของขยะมูลฝอยทั้ง 3 ฤดูกาล พบสัดส่วนของขยะมูลฝอยอินทรีย์พบมากที่สุดและองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของ 2 เทศบาล ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย ในส่วนของปัจจัยในการผลิตก๊าซชีวภาพของศูนย์กำจัดขยะ มูล

ฝอยอยู่ในค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเทศบาลตำบลสูงเนินไม่ได้นำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ในด้านเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาในครั้งนี้ไม่สามารถเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรของเทศบาลนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนินได้ เนื่องจากโครงสร้างระบบมีความแตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่าศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรของเทศบาลนครราชสีมา ซึ่งประกอบด้วยระบบคัดแยกขยะมูลฝอย ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ ระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะ และระบบฝังกลบ ซึ่งเหมาะสำหรับชุมชนที่มีขนาดกลาง สารตั้งต้นที่นำเข้าสู่ระบบต้องมีการปรับสภาพ และมีปริมาณขยะมูลฝอยระหว่าง 101-300 ตัน/วัน แต่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้ามากำจัดในปัจจุบันมีปริมาณสูงกว่าระบบที่ออกแบบไว้ในตอนแรกที่กำจัดขยะมูลฝอยได้เพียง 250 ตัน/วัน นอกจากนี้อุปกรณ์ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเกิดการชำรุด ทำให้ระบบทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งขยะ มูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพียง 99.15 ตัน/วัน ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้น้อยกว่าทฤษฎี ส่วนศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจรของเทศบาลตำบลสูงเนิน ประกอบด้วยระบบคัดแยกขยะมูลฝอย ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ และระบบฝังกลบ เหมาะสำหรับชุมชนที่มีขนาดเล็ก สารตั้งต้นไม่ต้องปรับสภาพ จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการดูแลระบบ และมีปริมาณขยะมูลฝอยระหว่าง 15-50 ตัน/วัน ซึ่งปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้ามาสามารถจัดการได้ทั้งหมด จากสมดุลมวลในส่วนของระบบหมักแบบแห้งของเทศบาลตำบลสูงเนินไม่สามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพในส่วนนี้ได้ ซึ่งภายในระบบหมักแบบแห้งมีเพียงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อทำให้เกิดน้ำชะขยะ มูลฝอยออกมา แล้วนำน้ำชะขยะมูลฝอยในส่วนนี้เข้าสู่ถังปฏิกิริยาเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพของเทศบาลตำบลสูงเนินค่อนข้างน้อยไม่เป็นไปตามทฤษฎีเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย

1. เทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนินควรพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และปรับปรุงในส่วนระบบคัดแยกขยะมูลฝอยอินทรีย์ เพื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้มากยิ่งขึ้น และเตรียมวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบให้เหมาะสม พัฒนาถังปฏิกิริยาให้มีความเสถียรและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น รวมถึงควรพัฒนาระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ เพื่อจัดเก็บปริมาณก๊าซที่เข้าสู่ระบบได้มากขึ้น

2. เทศบาลนครนครราชสีมาควรขยายศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเพื่อรองรับขยะมูลฝอยที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยนำขยะมูลฝอยตกค้างสะสม และส่วนที่เหลือจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ไปกำจัดใน

เตาเผาขยะมูลฝอยที่กำลังก่อสร้าง ส่วนเทศบาลตำบลสูงเนิน เนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ควรนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเพื่อลดค่าใช้จ่ายในศูนย์กำจัด และลดมลพิษจากการเผาทำลายก๊าซชีวภาพ

3. ควรเพิ่มสวัสดิการของพนักงานที่ทำงานในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย เพื่อเป็นแรงจูงใจในการทำงาน และอาจช่วยเพิ่มจำนวนพนักงานที่มีศักยภาพเพียงพอในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยให้เข้ามาทำงานมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้า เพื่อทำการวิจัยในครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาปัจจัยเสี่ยงต่อความล้มเหลว และปัจจัยที่จะนำไปสู่ความสำเร็จ เพื่อให้เกิดการจัดการขยะมูลฝอยที่ดีต่อไปในอนาคต

2. ควรศึกษาข้อมูลทางด้านเคมีของสารปรับสภาพดินเพิ่มเติม เพื่อให้ทราบคุณภาพของสารปรับสภาพดิน และปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นก่อนนำไปใช้ประโยชน์

3. ควรศึกษาวัตถุดิบในพื้นที่ที่สามารถช่วยส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตของก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร

4. ควรศึกษานวัตกรรมการกำจัดขยะมูลฝอยใหม่ๆ ที่เหมาะสมกับพื้นที่ต่อไปในอนาคต

อย่างไรก็ตามแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอาจเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบขยะมูลฝอย ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย การเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ และเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สามารถกำจัดขยะมูลฝอยในประเทศไทยได้ดีขึ้นในอนาคต เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการสำรวจเพื่อเป็นแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยอย่างต่อเนื่อง ทำให้การจัดการขยะมูลฝอยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กรกมล สราญรมย์ และวิทยา ยงเจริญ. (2558). การศึกษารูปแบบการจัดตั้งโรงงานแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง กรณีศึกษา เทศบาลนครนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี. กรุงเทพฯ: วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม–ธันวาคม) 2558.

กมลดารา เหรียญสุวรรณ และคณะศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2556). การพัฒนาต้นแบบการจัดการขยะครบวงจรในระดับหมู่บ้าน กรณีศึกษาหมู่บ้านวังป้อง ตำบลเหมืองแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร. (2556). พลังงานก๊าซชีวภาพ. กรุงเทพฯ: กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2546). คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนอย่างครบวงจร คู่มือสำหรับผู้บริหารองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). โครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศ. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). ความรู้เรื่องการลดคัดแยกและนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_3R.html. สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2559.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). หมายเหตุมลพิษ ฉบับที่ 5 ประจำเดือนสิงหาคม-กันยายน 2554. เข้าถึงได้จาก http://infofile.pcd.go.th/mgt/pollution2554_5qrt.pdf. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2563.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2557). ROADMAP การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). คู่มือแนวปฏิบัติการลดและคัดแยกขยะมูลฝอยในหน่วยงานภาครัฐ. เข้าถึงได้จาก http://www.mnre.go.th/attachment/iu/download.php?WP=qUIcnKt1pQugZKqCGWOghJstqTgcWatlpQygBKpkGQSgG2rDqYyc4Uux. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2563

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2563). รายงานผลการดำเนินงานตัวชี้วัดร้อยละของปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพในการปฏิบัติราชการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. (2554). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน พลังงานขยะ. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. (2557). Roadmap การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย ฉบับผ่านความเห็นชอบจากคณะรักษาความสงบแห่งชาติ.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. (2559). การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนผลิตพลังงานฟ้าจากขยะ ด้วยเทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย. เข้าถึงได้จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2245. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2560.

กิตติ ชยางกุล. (2553). ผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอย: กรณีศึกษาการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. กรุงเทพฯ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.

งานวิเคราะห์นโยบาย และแผนกองวิชาการและแผนงาน เทศบาลนครนครราชสีมา. 2559. แผนพัฒนาเทศบาลนครนครราชสีมาสามปี (พ.ศ.2559-พ.ศ.2561). นครราชสีมา: เทศบาลนครนครราชสีมา.

จอมอัฐ สว่างวงศ์. (2553). การวิเคราะห์พลังงาน และเศรษฐศาสตร์ โดยรวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าขยะชุมชน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ชาญชัย ทองโสภา. (2558). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาสำหรับแหล่งความร้อนเสริมในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นเพื่อกำจัดขยะชุมชน. สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ชูศักดิ์ เทียมเมฆา. (2556). ความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยของจังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ญานิศา ละอองอุทัย และวชารา ดาวสุด. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพโดยหัวเชื้อจากของเสียตะกอนเลนบ่อกุ้งทะเล. งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ณัฐรัตน์ ฉัตรวิบูลกุล. (2560). การปรับปรุงคุณสมบัติของชีวมวลผ่านกระบวยการทอรีแฟคชั่นด้วยเตาเผาแบบหมุน. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ณัฐวุฒิ ดุษฎี, นิกราน หอมดวง และ ธเนศ ไชยชนะ. (2559). ศึกษาความเหมาะสม และวิเคราะห์โครงการแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นพลังงานทดแทนในรูปของ RDF. เข้าถึงได้จาก https://erp.mju.ac.th/researchDetailPublic.aspx?rid=5089. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2560.

ทวินันท์ สเลอาด. (2554). ผลของเวลาการกวนตะกอนและการเวียนตะกอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยระบบหมักไร้อากาศแบบแห้งในขนาดใช้งานจริง.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิพย์มาศ สมนึก. (2551). ความเหมาะสมของเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยชุมชนทั่วไปของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ธนพล เมธาวินวิวัฒน์. (2554). ปัจจัยกำหนดปริมาณขยะมูลฝอยฝนประเทศไทย. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ธเรศ ศรีสถิตย์. (2557). วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธิติสุดา พันธุรังษี. (2558). การประเมินศักยภาพของน้ำเสียจากกรุงเทพมหานครสำหรับนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษาโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

นรินทร์ พัฒนพงศา. (2542). ความรู้ ทัศนคติเกี่ยวกับขยะและการจัดการของเมืองเชียงใหม่ และการลดปริมาณขยะด้วยวิธีการต่างๆ. เข้าถึงได้จาก

http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC3710004.pdf. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2560.

นฤมล เซาะกระโทก. (2556). การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนดีแคนเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บริษัทเพื่อการบริหารโครงการ จำกัด. (2559). การบริหารจัดการขยะแบบครบวงจรที่เหมาะสมกับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: บริษัทเพื่อการบริหารโครงการ จำกัด.

บูรณะศักดิ์ มาดหมาย. (2552). การนำเทคโนโลยีพลังงานชีวมวล มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปพลังงาน. เข้าถึงได้จาก http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/p60-65.pdf. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2563.

ประจักษ์ ปฏิทัศน์. 2559. เอกสารประกอบการฝึกอบรม สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่, 27 เมษายน 2559 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. กรุงเทพฯ.

ปราณี ไพบูลย์สมบัติ. (2546). ชนิด ปริมาณขยะ และพฤติกรรมการทิ้งขยะของนักท่องเที่ยว และผู้ประกอบการในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรียาภัทร วรรณสุข. (2551). องค์ประกอบและการประมาณปริมาณขยะเขตเทศบาลตำบลนาส่วง อุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ผจงสุข สุธารันต์, เสาวนิตย์ ชอบบุญ, นิศากร วิทจิตสมบูรณ์ และอนุมัติ เดชนะ. (2560). การพัฒนาถังผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาประจำปี 2554.

พิรียุตม์ วรรณพฤกษ์, (2558). Roadmap การจัดการขยะ. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยพัฒนาการปกครองท้องถิ่น สถาบันพระปกเกล้า.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2563). โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ รายงานฉบับสมบูรณ์ บทที่ 19 ขยะมูลฝอย. เข้าถึงได้จาก http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20180624233540u.pdf. สืบค้นเมื่อ 13 กรกฎาคม 2563.

มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน. (2550). โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะชุมชนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.

วาสนา รื่นรส. (2560). ลักษณะมูลฝอยและการจัดการมูลฝอยในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วินัย มีแสง. (2559). แนวโน้มองค์ประกอบและปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนในพื้นที่ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี. วารสาร สมาคมนักวิจัย ปีที่ 21 ฉบับที 3 กันยายน-ธันวาคม 2559. เข้าถึงได้จากhttp://ar.or.th/ImageData/Magazine/10044/DL_10293.pdf?t=636749937463733719. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563.

วันชลี เพ็งพงศา. (2551). จดหมายข่าว กลุ่มงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ประจำเดือนเมษายน-มิถุนายน 2551. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2552). การศึกษาแนวทางบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบครบวงจร (ระดับชุมชน). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุจิตรา วาสนาดำรงดี และปเนต มโนมัยวิบูลย์. (2558). แนวคิดในการจัดทำร่างกฎหมายจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เข้าถึงได้จาก www.hsm.chula.ac.th/news/แนวคิดร่างกมขยะอิเล็กทรอนิกส์.pdf. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2563.

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). โครงการนำร่องเพื่อสนับสนุนการจัดตั้งศูนย์สาธิตเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถิตรัตน์ รอดอารีย์. (2554). แก๊สชีวภาพ. เข้าถึงได้จากจาก https://bit.ly/2VUeFkj, สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2563.

สนทยา มูลศรีแก้ว, ฐานิศวร์ ชิตธราเศรษฐ์, นิมิต ขจรไชยกุล, อติชาติ ภูมิวนิชชา และสุรัตน์ บุญยวง. (2555). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพมูลสัตว์ในถังหมักพลาสติก และถุงหมักพลาสติกขนนาดเล็ก เพื่อเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในครัวเรือน.งบกองทุนส่งเสริมงานวิจัยปี 2555, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

สมชาย มณีวรรณ์, ดลเดช ตั้งตระการพงษ์, สมใจ กาญจนวงศ์, ชนินทร์ อัมพรสถิร, อนุสรณ์ วรสิงห์, พรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย, เชาวน์ นกอยู่ และวัณเพ็ญ วิโรจกูฏ. (2552). การศึกษาวิเคราะห์

แนวทางการจัดการขยะในการผลิตไฟฟ้าในระดับตำบล. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สมภพ แจ่มจันทร์. (2550). ประสบการณ์ทางจิตใจของผู้ต้องขังหญิงคดีฆาตกรรมในทัณฑสถานหญิงเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสรีย์ ตู้ประกาย. (2553). รายวิชาวิศวกรรมขยะ และการจัดการของเสียอันตราย (Solid Waste Engineering and Hazadous Waste Management). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

โสพส แซ่ลิ้ม. 2559. ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กลุ่มวิจัยและพัฒนาการจัดการอินทรียวัตถุ. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักงานเทศบาลตำบลสูงเนิน. (2559). ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร เทศบาลตำบลสูงเนิน. นครราชสีมา: สำนักงานเทศบาลตำบลสูงเนิน.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3. (2555). การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของมูลฝอย. เข้าถึงได้จาก http://www.reo3.go.th/newversion/images/stories/o_persent/000/02.docx. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2560.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3. (2556). การศึกษาปริมาณมูลฝอย. เข้าถึงได้จาก http://www.reo3.go.th/newversion//images/stories/report2557/possibility_waste/003.pdf. สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2560.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร องค์กรมหาชน. (2561). แนวทางการจัดการปาล์มน้ำมัน และผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องที่ใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์มอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ :สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร องค์กรมหาชน.

สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2552). การกำจัดขยะมูลฝอย แบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2552). คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย (Composting). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

หัทญา เนตยารักษ์. (2559). กระบวนการหาทางเลือกที่เหมาะสมในการจัดการขยะชุมชนตามแนวพระราชดำริ กรณีศึกษา ชุมชนสุขใจวิลเลจ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร. วารสารวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 24 ฉบับที่ 5 (ฉบับพิเศษ) 2559. คณะวิทยาศาสต์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

อัฆพรรค์ วรรณโกมล. (2560). การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากฟาร์มกุ้ง. ทุนอุดหนุนการวิจัย ปีงบประมาณ 2557. สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี วำยักวิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

A. Ahamed, K. Yin, B.J.H. Ng, F. Ren, V.W.-C. Chang and J.-Y. Wang. (2015). Life cycle assessment of the present and proposed food waste management technologies from environmental and economic impact perspectives. *Journal of Cleaner Production 131,* 607–614.

APHA, AWWA. and WEF. 2005. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 22th edition. Washington D.C : American Public Health Association.

Bioferm energy systems and Viessmann group, (2020). Dry Fermentation vs. Wet Fermentation. Available from https://uwosh.edu/biogas/wp-content/uploads/sites/63/2015/11/dry-fermentation-process.pdf. Accessed on 5 May 2016.

Dinh Duc Nguyen, Soon Woong Chang, Seong Yeob Jeong, Jaehoon Jeung, Sungsu Kim, Wenshan Guo, Huu Hao ngo. (2016). Dry thermophilic semi-continuous anaerobic digestion of food waste: Performance evaluation, modified Gompertz model analysis, and energy balance. *Energy Conversion and Management 128,* 203–210.

European Environment Agency. (2003). Waste Generation and Management. Available from http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_assessment_report_2003_10/kiev_chapt_07.pdf. Accessed on 7 December 2016.

Hassan A. Arafat, Kenan Jijakli and Amimul Ahsan. (2013). Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. *Cleaner Production 105*, 233–240.

Natalia Edo-Alcon, Antonio Gallardo, Francisco J. Colomer – Mendoza. (2016). Characterization of SRF from MBT plants: Influence of the input waste and of the processing technologies. *Fuel Processing Technology*. 17–27.

Nilmara Dias, lnes Garrinhas, Angela Maximo, Nuno Belo, Paulo Roque, M. Teresa Carvalho. (2015). Recovery of glass from the inert fraction refused by MBT plants in a pilot plant. *Waste Management*. 201–211.

Peamod K. Pandey, Wenlong Cao, Yi Wang, Venkata Vaddella, Alejandro R. Castillo, Alex Souza, Noelia Silva del Rio. (2016). Simulating the effects of mesophilic anaerobic and aerobic digestions, lagoon system, and composting on pathogen inactivation. *Ecological Engineering 97*, 633–641.

Rajinikanth Rajagopal, David Bellavance, Md. Saifur Rahaman. (2016). Psychrophilic anaerobic digestion of semi-dry mixed municipal food waste: For North American context. *Process Safety and Environmental Protection*. 101–108.

Shohei Riya, Lingyu Meng, Yuexi Wang, Chol GyuLee, Sheng Zhou, Koki Toyota and Masaaki Hosomi. (2020). Dry Anaerobic digestion for agricultural waste recycling. Available from https://www.intechopen.com/online-first/dry-anaerobic-digestion-for-agricultural-waste-recycling. Accessed on 7 june 2020.

Wikanda Khomchu. (2017). Material flow analysis (MFA) study for sustainable management of PVC wastes in Thailand (Phase 3). Chulalongkorn University Intellectual Repository. 14-16.

Ying-Chu Chen. (2016). Potential for energy recovery and greenhouse gas mitigation from municipal solid waste using a waste-to-material approach. *Waste Management*. 408–414.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสัมภาษณ์ผู้บริหารและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

เรื่อง การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง: กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานผู้ให้สัมภาษณ์

ชื่อ-นามสกุล ..... ตำแหน่ง .....

หน่วยงาน ..... อายุ .....ปี เพศ .....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ ..... หมู่ที่ ..... หมู่บ้าน .....

ตำบล ..... อำเภอ ..... จังหวัด .....

รหัสไปรษณีย์ ..... หมายเลขโทรศัพท์ ..... E-mail .....

ส่วนที่ 2 การจัดการขยะมูลฝอย

1. หน่วยงานของท่านมีการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีใดที่ใช้ในอดีต อย่างไร

.....

.....

2. ท่านใช้วิธีใดในการกำจัดขยะมูลฝอยในปัจจุบัน เพราะเหตุใด

.....

.....

3. ปัญหาและอุปสรรคที่ท่านพบในการจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบัน มีอะไรบ้าง และท่านแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างไร

.....

.....

4. ท่านมีการรับมือกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นอย่างไร

.....

.....

5. ท่านมีการจัดสรรงบประมาณที่ใช้ในการจัดการขยะมูลฝอย อย่างไรบ้าง

.....

.....

6. หน่วยงานหรือองค์กรใดเป็นผู้รับผิดชอบดูแลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร (เทศบาลนครนครราชสีมา/เทศบาลตำบลสูงเนิน)

.....

.....

7. ท่านมีการวางแผนขยาย หรือปรับปรุงศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

ส่วนที่ 3 อยากให้ท่านแนะนำบุคคล/หน่วยงานที่ควรสัมภาษณ์และเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้

ชื่อ-นามสกุล ..... ตำแหน่ง .....

หน่วยงาน ..... เพศ .....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ ..... หมู่ที่ ..... หมู่บ้าน .....

ตำบล ..... อำเภอ ..... จังหวัด .....

รหัสไปรษณีย์ ..... หมายเลขโทรศัพท์ .....

ส่วนที่ 4 ท่านยินยอมให้ผู้วิจัยสามารถเปิดเผยข้อมูลส่วนตัวของท่านสำหรับการนำเสนอผลการวิจัยได้หรือไม่

☐ ยินยอม ☐ ไม่ยินยอม

ลงชื่อ.....

ภาคผนวก ข

สรุปคะแนนประเมินแบบสัมภาษณ์โดยผู้เชี่ยวชาญ

เรื่อง การศึกษาการจัดการระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักไร้อากาศจากขยะมูลฝอยชุมชนแบบเปียกและแห้ง: กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

ข้อที่	คำถาม	ความชัดเจนของข้อคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ/ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม	เฉลี่ย (ค่าIOC)	การปรับปรุง	แปลผล
		1	2	3				
ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ให้ข้อมูล								
1.	ชื่อ-นามสกุล	1	1	0		0.67		ใช้ได้
2.	อายุ.....ปี	1	1	1		1		ใช้ได้
3.	เพศ	1	1	1		1		ใช้ได้
4.	ตำแหน่ง	1	1	1		1		ใช้ได้
5.	หน่วยงาน	1	1	1		1		ใช้ได้
6.	ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... หมู่บ้าน..... ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....	1	1	1		1		ใช้ได้

ข้อที่	คำถาม	ความชัดเจนของข้อคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ/ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม	เฉลี่ย (ค่าIOC)	การปรับปรุง	แปลผล
		1	2	3				
7.	เบอร์โทรศัพท์.....	1	1	1		1		ใช้ได้
8.	E-Mail.....	1	1	1		1		ใช้ได้
ตอนที่ 2 การจัดการมูลฝอย								
1.	หน่วยงานของท่านมีการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีใดที่ใช้ในอดีต อย่างไร	1	1	1		1		ใช้ได้
2.	ทำไมท่านถึงเลือกวิธีกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน	1	1	1	ควรเพิ่มว่า ท่านใช้วิธีใดในการกำจัดมูลฝอยและเพราะเหตุใด	1	ท่านใช้วิธีใดในการกำจัดขยะมูลฝอยในปัจจุบันเพราะเหตุใด	ใช้ได้
3.	ปัญหาและอุปสรรคที่ท่านพบในการจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบัน มีอะไรบ้าง และท่านแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างไร	1	1	1		1		ใช้ได้
4.	ท่านมีการรับมือกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นอย่างไร	1	1	1		1		ใช้ได้

ข้อที่	คำถาม	ความชัดเจนของข้อคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ/ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม	เฉลี่ย (ค่าIOC)	การปรับปรุง	แปลผล
		1	2	3				
5.	ท่านมีการจัดสรรงบประมาณที่ใช้ในการจัดการขยะมูลฝอย อย่างไรบ้าง	1	1	1		1		ใช้ได้
6.	หน่วยงานหรือองค์กรใดเป็นผู้รับผิดชอบดูแลศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบครบวงจร (เทศบาลนครนครราชสีมา/เทศบาลตำบลสูงเนิน)	1	1	-1	ไม่จำเป็นเพราะในแบบฟอร์มระบุอยู่แล้วว่าเทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน	0.33	ไม่ได้มีการปรับปรุงเนื่องจากยังมีหน่วยงานอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง	ใช้ได้
7.	ท่านมีการวางแผนขยาย หรือปรับปรุงศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยหรือไม่ อย่างไร	1	1	1		1		ใช้ได้
ตอนที่ 3 ข้อมูลเพิ่มเติมของหน่วยงานอื่นๆ ที่ควรสัมภาษณ์เกี่ยวกับงานวิจัยชิ้นนี้								
1.	อยากให้ท่านแนะนำบุคคล/หน่วยงานที่ควรสัมภาษณ์และเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ 1.1 ชื่อ-นามสกุล ..... 1.2 อายุ.....ปี							

ข้อที่	คำถาม	ความชัดเจนของข้อคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ/ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม	เฉลี่ย (ค่าIOC)	การปรับปรุง	แปลผล
		1	2	3				
	1.3 เพศ ..... 1.4 ตำแหน่ง ..... 1.5 หน่วยงาน ..... 1.6.ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... หมู่บ้าน..... ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... 1.7 เบอร์โทรศัพท์.....	1	1	1		1		ใช้ได้
ตอนที่ 4 ความยินยอมในการเปิดเผยข้อมูลส่วนตัวสำหรับการนำเสนอผลการวิจัย								

ข้อที่	คำถาม	ความชัดเจนของข้อคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ/ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม	เฉลี่ย (ค่าIOC)	การปรับปรุง	แปลผล
		1	2	3				
1.	ท่านยินยอมให้ผู้วิจัยสามารถเปิดเผยเปิดเผยข้อมูลส่วนตัวของท่านสำหรับการนำเสนอผลการวิจัยได้ ลงชื่อ ..... ( )	1	0	1	ควรมีการเพิ่มเติมคือ “ท่านไม่ยินยอมให้เปิดเผยข้อมูลส่วนตัวสำหรับการนำเสนอผลการวิจัย” สำหรับผู้ที่ไม่ประสงค์จะออกชื่อ แต่สามารถให้ข้อมูลคำตอบได้	0.67	เพิ่มช่องยินยอม และไม่ยินยอม	ใช้ได้
รวม		17	16	14		15.67		

หมายเหตุ คะแนน 1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่

คะแนน -1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

โดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณาระดับค่าดัชนี IOC ของข้อคำถามที่ได้มาจากการคำนวณจากสูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 ซึ่งรายละเอียดของเกณฑ์การพิจารณา มีดังนี้

ค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป สามารถนำข้อคำถามนั้นไว้ใช้ได้

ค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาปรับปรุง หรือตัดทิ้ง

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย

ภาพที่ 6-1 ภาพตัวอย่างแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลนครนครสีมา

ภาพที่ 6-2 ภาพตัวอย่างแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลสูงเนิน

ภาคผนวก ง
เก็บตัวอย่างวิเคราะห์น้ำ

ภาพที่ 6-3 ภาพตัวอย่างเก็บวิเคราะห์น้ำ เทศบาลนครนครราชสีมา

ภาพที่ 6-4 ภาพตัวอย่างเก็บวิเคราะห์น้ำ เทศบาลตำบลสูงเนิน

ภาคผนวก จ
ตัวอย่างผู้ให้สัมภาษณ์

รองนายกเทศมนตรีนครนครราชสีมา

นายกเทศมนตรีตำบลสูงเนิน

เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ นครนครราชสีมา

ผอ.กองสาธารณะสุขและสิ่งแวดล้อม

เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ ตำบลสูงเนิน

ภาพที่ 6-5 ภาพตัวอย่างผู้ให้สัมภาษณ์เทศบาลนครนครราชสีมาและเทศบาลตำบลสูงเนิน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววรรษมล ลีลาพิทักษ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810920016

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยศิลปากร	2555

ทุนการศึกษา

- ทุนอุดหนุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. พ.ศ.2559 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

- ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วรรษมล, วรางคณา, และพิรียุตม์ (2562). การศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษาเทศบาลนครนครราชสีมา และเทศบาลตำบลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี พ.ศ. 2562* (หน้า 175-183). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.