



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินการแพร่ระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น
Evaluation of Methane Emission Rate from Municipal Solid Waste Landfill during
Initial Stage

นามผู้วิจัย นายกิตติกุล สารสุวรรณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, Dr.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วิไล เจริญไชยศรี, D.Tech.Sc..)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, Dr.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Arg.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.

สืบสีตงิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการแพร่ระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น

Evaluation of Methane Emission Rate from Municipal Solid Waste
Landfill during Initial Stage

โดย

นายกิตติกุล สารสุวรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติคุณ สารสุวรรณ 2554: การประเมินการแพร่กระจายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบมูล
ฝอยชุมชนในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย (วิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng. 123 หน้า

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายก๊าซมีเทน
จากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น โดยทำการวัดอัตราการแพร่กระจาย ก๊าซ
มีเทนบนพื้นที่ฝังกลบของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง ด้วยวิธี กล่อง
วัดอัตราการแพร่กระจายก๊าซแบบปิด จำนวน 8 จุด และทำการ ศึกษาเปรียบเทียบกับปัจจัยที่อิทธิพล
ต่อการแพร่กระจายมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ 3 ปัจจัย 1) อายุของการฝังกลบ 2) องค์ประกอบของ
ก๊าซใต้ผิวดินฝังกลบมูลฝอยชั้นบนสุด 3) ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาบนหลุมฝังกลบ

จากผลการวัด อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ มีลักษณะที่ ไม่
สม่ำเสมอตลอดพื้นที่ของหลุมฝังกลบมูลฝอยมีค่าแปรผันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.02 – 225.28 กรัมต่อ
ตารางเมตรต่อวัน โดยที่มีค่าเฉลี่ยทั่วไประหว่างที่ทำการตรวจวัดตลอดระยะเวลา 11 เดือน เท่ากับ
31.74 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน อายุของการฝังกลบมูลฝอยเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ที่สุดต่ออัตรา
การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยสามารถอธิบายได้ตามสมการทาง
คณิตศาสตร์ในลักษณะเอ็กโพเนนเชียลในช่วง 6 เดือนแรก และเส้นโค้งรูปตัวเอสในช่วง
ระยะเวลา 11 เดือน ในบางจุดของการตรวจ วัดจะพบว่า เริ่มมีอากาศแพร่เข้าสู่พื้นที่ผิวดินฝังกลบ
หลังจากที่มีการปิดพื้นที่เป็นเวลา 6 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน
ออกจากหลุมฝังกลบจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากสิ้นสุดฤดูฝนไปแล้วประมาณ 3 – 4
เดือน

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kittikul Sursuwan 2011: Evaluation of Methane Emission Rate from Municipal Solid Waste Landfill during Initial Stage. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Pofessor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 123 pages.

This research is aimed to study methane rate and specific factors which are influential in methane emission from solid waste landfill during intial period. The research is conduted by measuring methane emission at eight different locations of solid waste disposal area of Laem Chabang solid waste disposal facility by using close flux chamber method. Three factors which are influential to methane emission from solid waste disposal area, i.e. age of disposed wastes, gas composition in landfill cell and precipitation are considered.

From the measuring results, it was found that methane emission rate varied with location and time. They are between 0.02 – 225.28 g/m²/day with an average of 31.74 g/m²/day over the entire disposal area during 11 months of monitoring period. The most influencing factors to methane emission rates were the age of disposed wastes. Methane emission rates could be explained by exponential mathematical expression over time during the first 6 months and S shaped cruve during the whole 11 months of monitoring period. At some monitoring locations, air intrusion into landfill cell took place after about 6 months of its closure. Moreover, methane emission rates were also found increasing after rainy season has terminated by 3 – 4 months.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชชาติ เจียมไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาในการทำการศึกษาวิจัยและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รองศาสตราจารย์ ดร. วิไล เจียมไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือและแนะนำในการดำเนินการศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบเจ้าหน้าที่เทศบาลนครแหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านสถานที่และอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบ พระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณาจารย์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกๆท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเอกสารข้อมูล เครื่องทดสอบ และอำนวยความสะดวกต่างๆที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอย่างนึ่งต่อ คุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้ามาโดยตลอด

กิตติกุล สารสุวรรณ

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	41
ผลทดลองและการวิจารณ์	48
สรุปและข้อเสนอแนะ	78
สรุป	78
ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารอ้างอิงและสิ่งอ้างอิง	80
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก ภาพอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซและสถานที่ทำการทดลอง	87
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ วิธีการคำนวณอัตราการแพร่ ระบายนก๊าซด้วยวิธี Close Flux Chamber และตารางค่าดัชนี คุณสมบัติของอากาศ	92
ภาคผนวก ค ผลการตรวจวัดก๊าซ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และค่าความชื้นดินกลบ ทับในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชนของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบ ฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	103
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2548 – 2551	4
2	ศักยภาพก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก	11
3	องค์ประกอบก๊าซ โดยทั่วไปจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอย	17
4	องค์ประกอบของก๊าซหลังจากที่ได้ฝังกลบในเซลล์ที่ระยะเวลาที่ต่างกัน	19
5	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยตามอายุการฝังกลบมูลฝอย	21
6	ค่าความเข้มข้นของธาตุที่มีประจุไอออนบวกในระดับที่เป็นสารกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	25
7	สัดส่วนคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงเป็นก๊าซจากการหมักองค์ประกอบมูลฝอยแต่ละชนิด	27
8	การตรวจวัดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบและระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย	46
9	องค์ประกอบและลักษณะสมบัติทางกายภาพของมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง	55
10	ลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง	56
11	แสดงธาตุองค์ประกอบของมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง	57
12	ค่าองค์ประกอบโมเลกุลของมูลฝอยสดเทศบาลนครแหลมฉบัง	58
13	ผลตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง	61
14	อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอน ไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอย เทศบาลนครแหลมฉบัง ในช่วงระหว่างเดือน สิงหาคม 2552 – มิถุนายน 2553	63
15	ความสัมพันธ์สัดส่วนขององค์ประกอบของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผิวดินฝังกลบกับอายุของการฝังกลบ	65
16	ผลการวิเคราะห์โดยใช้สมการรูปแบบต่างเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรก	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	ผลการวัดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วันที่ 23 มกราคม 2553	100
ข2	ค่าดัชนีคุณลักษณะทั่วไปของอากาศ	102
ค1	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 18 กรกฎาคม 2552	104
ค2	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 22 สิงหาคม 2552	105
ค3	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 23 กันยายน 2552	106
ค4	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 23 ตุลาคม 2552	107
ค5	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 20 พฤศจิกายน 2552	108
ค6	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 25 ธันวาคม 2552	109
ค7	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 23 มกราคม 2553	110
ค8	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2553	111
ค9	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 25 มีนาคม 2553	112
ค10	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 15 พฤษภาคม 2553	113
ค11	ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร แหลมฉบัง วันที่ 19 มิถุนายน 2552	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค12 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในแต่ละเดือนประจำปี พ.ศ. 2552 เทศบาลนคร แหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	115
ค13 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในแต่ละเดือนประจำปี พ .ศ. 2552 เทศบาลนคร แหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	117
ค14 ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพได้ฟิวคินฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลม ฉบัง จ.ชลบุรี ระหว่าง กันยายน 2552 – มิถุนายน 2553 ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 1 - 3	119
ค15 ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพได้ฟิวคินฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลม ฉบัง จ.ชลบุรี ระหว่าง กันยายน 2552 – มิถุนายน 2553 ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 4 - 6	120
ค16 ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพได้ฟิวคินฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลม ฉบัง จ.ชลบุรี ระหว่าง กันยายน 2552 – มิถุนายน 2553 ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 7 - 8	121
ค17 ค่าความชื้นของคินฝังกลบมูลฝอยที่ของระดับชั้นที่ 3 ณ จุดตรวจวัดที่ 1 – 8 ระหว่างวันที่ 22 สิงหาคม 2552 – 19 มิถุนายน 2553	120

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณ มูลฝอย ชุมชนที่เกิดขึ้นและ ที่ได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ	5
2	ก) วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area Method) และ ข) วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)	9
3	(a) ปริมาณของการปลดปล่อยของกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ระหว่างปี ค.ศ. 1970 – 2004 (b) สัดส่วนของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ในปี ค .ศ. 2004 เมื่อเทียบเป็น CO ₂ -eq (c) สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ในปี ค .ศ. 2004 เมื่อเทียบเป็น CO ₂ -eq (c)	10
4	สัดส่วนของการปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ใน ค.ศ. 2000	12
5	การเปลี่ยนแปลงของก๊าซและค่าดัชนีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ	15
6	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย	16
7	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตก๊าซมีเทนกับอายุการฝังกลบมูลฝอย	19
8	อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบมูลฝอยจำนวน 86 แห่งทั่วโลก	19
9	ความสัมพันธ์ของพีเอช คาร์บอน ไดออกไซด์ และความเป็นด่างไปคาร์บอนेट	22
10	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์	24
11	อัตราการเกิดก๊าซและอัตราการลดลงของแข็งที่เผาไหม้ได้ของมูลฝอย	30
12	ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลากับอัตราการผลิตก๊าซ มีเทน	31
13	การใช้ค่าแรงดันดึงก๊าซกับการปลดปล่อยก๊าซออกจากหลุมฝังกลบ	31
14	จำลอง Close Flux Chamber	39

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	จุดที่ทำการตรวจวัดก๊าซบนพื้นที่ฝั่งกลบศูนย์การจัดการมูลฝอยเทศบาลนคร แหลมฉบัง	42
16	ตำแหน่งที่ตั้งตามลักษณะภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ทำการศึกษา	43
17	การดำเนินการฝั่งกลบมูลฝอย ณ เดือน สิงหาคม 2552	43
18	การดำเนินการฝั่งกลบมูลฝอย ณ เดือน กันยายน 2552	44
19	การดำเนินการฝั่งกลบมูลฝอย ณ เดือน ตุลาคม 2552	45
20	การดำเนินการฝั่งกลบมูลฝอย ณ เดือน พฤศจิกายน 2552	45
21	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝั่งกลบ	63
22	ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ผิวดินฝั่งกลบ จุดที่ 2	66
23	ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ผิวดินฝั่งกลบ จุดที่ 3	67
24	ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ผิวดินฝั่งกลบ จุดที่ 4	67
25	ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ผิวดินฝั่งกลบ จุดที่ 6	67
26	ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ผิวดินฝั่งกลบ จุดที่ 7	68
27	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝั่งกลบกับอายุ ของการฝั่งกลบมูลฝอย	68
28	การแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝั่งกลบ ณ จุดที่ 1, 5, 7 และ 8	69
29	การแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝั่งกลบ ณ จุดที่ 2, 3, 4 และ 6	70
30	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝั่งกลบที่ ช่วงอายุการฝั่งกลบ 6 เดือนแรก	72
31	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝั่งกลบที่ ช่วงอายุการฝั่งกลบตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
32	ความสัมพันธ์ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมากับอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนที่จุดต่างๆ บนพื้นที่หลุมฝังกลบ	77
ภาพผนวกที่		
ก1	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซและหลอดเก็บตัวอย่างก๊าซ	88
ก2	Close Flux Chamber	88
ก3	การวาง Close Flux Chamber บนพื้นดินกลบทับ	89
ก4	พื้นที่หลุมฝังกลบก่อนสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอย	89
ก5	พื้นที่หลุมฝังกลบหลังสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูฝน	90
ก6	พื้นที่หลุมฝังกลบหลังสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอยในช่วงหลังฤดูฝน	90
ก7	ช่วงอายุการฝังกลบ 2 เดือน ของจุดตรวจวัดวัดก๊าซที่ 7	91
ก8	การทำการขุดผิวดินกลบทับชั้นบนสุดของจุดตรวจวัดวัดก๊าซที่ 7	91
ก9	ช่วงอายุการฝังกลบ 5 เดือน ของจุดตรวจวัดวัดก๊าซที่ 7	91
ข1	เส้นความสัมพันธ์ Regression ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับเวลา มีค่า R^2 0.85	100

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\text{CO}_2\text{-eq}$	=	ศักยภาพการก่อให้เกิดของก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่ากับการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ
$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
F	=	อัตราการบายของก๊าซออกมาของพื้นที่
ρ	=	ค่าความหนาแน่นของก๊าซ
V	=	ปริมาตรของ Chamber
A	=	พื้นที่หน้าตัดของ Chamber
ΔC	=	ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง
Δt	=	ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ
V_z	=	ความเร็วในการพาในทิศทางแนวดิ่ง
C_A	=	ความเข้มข้นของสารประกอบ
D_z	=	สัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพการแพร่ระบายก๊าซ
Z	=	ความลึก
N_A	=	อัตราการแพร่ระบายก๊าซ (gas flux)
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ระบายก๊าซ
α_{gas}	=	ความพรุนของดิน
α	=	ความพรุนทั้งหมดของดิน
L	=	ความลึกของดินกลบทับมูลฝอย
C_{atm}	=	ความเข้มข้นของก๊าซที่ผิวชั้นบนของหลุมฝังกลบมูลฝอย
C_{fill}	=	ความเข้มข้นของก๊าซที่ผิวชั้นล่างของหลุมฝังกลบมูลฝอย

การประเมินการแพร่ระบายก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชน ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น

Evaluation of Methane Emission Rate from Municipal Solid Waste Landfill during Initial Stage

คำนำ

ผลจากการพัฒนาการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมและประชากรที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการนำเอาทรัพยากรมาใช้ในการอุปโภคบริโภคอย่างมากจนทำให้ปริมาณของมูลฝอยมีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามลำดับ จนเกิดปัญหาเรื่องการบริหารจัดการมูลฝอยโดยก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนน้ำชะมูลฝอยตามแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน เหตุรำคาญจากกลิ่นรบกวน แหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์และแมลงนำโรค และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศที่เกิดจากกระบวนการฝังกลบมูลฝอย ซึ่ง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เป็นต้น

ปัจจุบันนี้ประเด็นเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้ทวีความสำคัญอย่างมาก ต่อการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศของโลกและการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการที่ในชั้นบรรยากาศมีปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ประเมินกันว่าปริมาณของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจากการปฏิวัติอุตสาหกรรม โดยในช่วงระหว่าง ค.ศ. 1970 - 2004 มีปริมาณกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้นราวร้อยละ 70 (IPCC, 2007) ถ้าหากยังมีการปลดปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนในชั้นบรรยากาศมีความเข้มข้นสูงราว 445 - 490 ppm (eq-CO₂) จะทำให้อุณหภูมิของโลกมีค่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 2.0 - 2.4°C จนอาจมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของลมประจำถิ่น ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำแข็งขั้วโลกที่ลดลง

ในขั้นตอนกระบวนการย่อยสลายมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนร้อยละ 60 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 40 (v/v) ซึ่งเป็นก๊าซในกลุ่มของก๊าซเรือนกระจกและมีการแพร่ระบายก๊าซเหล่านี้ออกจากหลุมฝังกลบออกสู่ชั้นบรรยากาศ ในปี ค.ศ. 2000 ได้มีการประเมิน

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศจากกระทำของมนุษย์พบว่าปริมาณถึง 282.6 ล้านตัน ซึ่งในจำนวนนี้ร้อยละ 13 หรือปริมาณ 3.64 ล้านตัน (USEPA, 2002) เป็นผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอย ผลการศึกษาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยในประเทศ พบว่ามีค่าอยู่ที่ช่วงระหว่าง 0.01 - 88.94 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ถึงอย่างไรก็ตาม การศึกษาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝังกลบส่วนใหญ่จะทำการตรวจวัดในช่วงระยะเวลาที่มีการปิดพื้นที่หลุมฝังกลบเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ปีขึ้นไป ซึ่งสภาวะการย่อยสลายมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบได้เข้าสู่ช่วงสภาวะการเกิดมีเทน (Methane phase) แล้ว ในขณะที่การศึกษาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการฝังกลบ ซึ่งมูลฝอยค่าองค์ประกอบของส่วนมากภายในหลุมฝังกลบยังมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนในช่วงที่เพิ่งปิดหลุมกลบฝอยยังมีน้อยมาก

การวิจัยครั้งนี้จึงต้องการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชนในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นจากสถานที่กำจัดมูลฝอย (Disposal Site) หลุมฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) โดยวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อิทธิพลเกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการสิ้นสุดการดำเนินการฝังกลบมูลฝอย โดยปัจจัยที่เลือกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าสัมพัทธ์นั้น ได้แก่ อายุการฝังกลบมูลฝอย ค่าความชื้นหน้าดินฝังกลบ ปริมาณของน้ำฝน และองค์ประกอบของก๊าซได้ฟิวดินกลบทับ รวมทั้งในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของมูลฝอยที่ได้เข้ามาสู่พื้นที่หลุมฝังกลบในแต่ละเดือนด้วย เพื่อนำผลลัพธ์จากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในการพิจารณาหาแนวทางสำหรับประเมินอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการฝังกลบ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาถึงปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชนในช่วงระยะเริ่มต้น ณ พื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยของศูนย์การจัดการขยะมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง
2. เพื่อต้องการทราบถึงการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเริ่มต้นหลังจากการฝังกลบมูลฝอย

ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการศึกษาวิจัยเรื่องอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นดินทับกลบ ณ พื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยของศูนย์การจัดการมูลฝอยขยะเทศบาลนครแหลมฉบัง ในช่วงระยะเวลา 11 เดือนแรกของการฝังกลบมูลฝอย
2. การศึกษาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีการ Close Flux Chamber โดยกำหนดจุดตรวจวัดอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวน 8 จุด
3. ศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้ามาสู่พื้นที่ฝังกลบมูลฝอย อย่างละครั้งต่อเดือน นับตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งสิ้นสุดฝังกลบมูลฝอย

การตรวจเอกสาร

1. สถานการณ์ของมูลฝอยภายในประเทศไทย

ปริมาณของมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของมูลฝอยชุมชนส่วนมากเกิดขึ้นในเขตพื้นที่นอกเขตเทศบาล แต่ในขณะเดียวกันบริเวณพื้นที่เขตของกรุงเทพมหานครและเมืองใหญ่ที่เป็นศูนย์กลางความเจริญของภาคต่างๆก็มีปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นมาอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครมีปริมาณของมูลฝอยคิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณมูลฝอยของปริมาณมูลฝอยทั้งหมดของประเทศ อย่างไรก็ตามปริมาณของมูลฝอยต่อคนต่อวันเฉลี่ยทั่วประเทศยังคงอยู่ที่ประมาณ 0.65 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2548 – 2551

พื้นที่	ปริมาณมูลฝอย (ตัน/วัน)			
	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551
1.กรุงเทพมหานคร*	8,291	8,403	8,532	8,750
2.ในเขตเทศบาลและเมืองพัทยา**	12,635	12,912	13,600	14,915
3.นอกเขตเทศบาล	18,295	18,697	18,200	17,369
รวมทั้งประเทศ	39,211	40,012	40,332	41,164

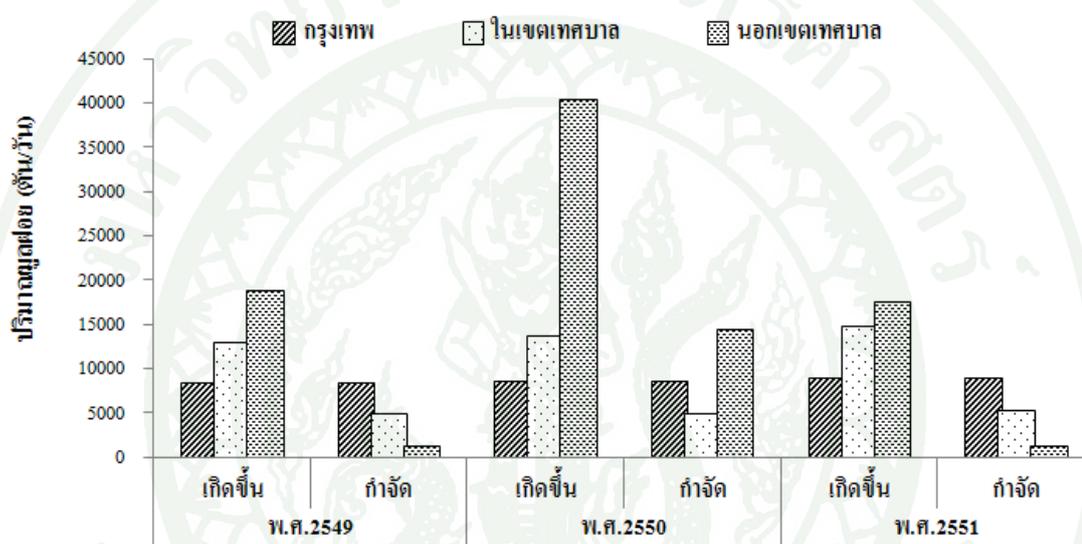
ที่มา: * ข้อมูลการเก็บขนรวบรวมจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

** ข้อมูลปริมาณมูลฝอยประมาณการโดยกรมควบคุมมลพิษ

กรุงเทพมหานคร มีการดำเนินการเก็บมูลฝอยเองทั้งหมดและได้จ้างบริษัทเอกชนดำเนินการกำจัด โดยปริมาณมูลฝอยที่เก็บขนได้ร้อยละ 12 จะถูกนำไปหมักทำปุ๋ย และที่เหลือจะนำไปกำจัดยังสถานที่ฝังกลบบริเวณพื้นที่ อำเภอนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี และอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

พื้นที่เขตเทศบาลและเมืองพัทยา มีสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชนที่ได้รับการออกแบบก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและสามารถเดินระบบได้มีอยู่ทั้งสิ้น 96 แห่ง (สถานที่ฝังกลบแบบสุขาภิบาล 92 แห่ง เทศบาลนครระยอง องค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี ระบบผสมผสาน 2

แห่ง และระบบเตาเผา 2 แห่ง เทศบาลนครภูเก็ต เทศบาลตำบลเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี) มีความสามารถในการกำจัดมูลฝอยได้อย่างถูกต้องเพียงร้อยละ 35 ของปริมาณมูลฝอยในเขตเทศบาล แต่ถึงอย่างไรก็ตามระบบการจัดการมูลฝอยก็ยังประสบปัญหา ในเรื่องของการขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญในเรื่องของการเดินระบบและบำรุงรักษา ทั้งยังขาดงบประมาณในการเดินระบบ ส่งผลทำให้ระบบที่ออกแบบและก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักการทางวิชาการขาดประสิทธิภาพในการกำจัดมูลฝอย นอกจากนี้เทศบาลหลายแห่งยังไม่มี การดำเนินการบริหารจัดการมูลฝอยในเขตพื้นที่รับผิดชอบเนื่องจากปัญหาเรื่องงบประมาณและขาดแคลนสถานที่กำจัดมูลฝอย



ภาพที่ 1 ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นและได้รับการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2552)

นอกเขตเทศบาล เป็นหน้าที่ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดและองค์การบริหารส่วนตำบล ที่ต้องรับผิดชอบเก็บรวบรวมและนำไปกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่นอกเขตเทศบาล มีสถานที่กำจัดมูลฝอยอย่างถูกต้องถูกหลักสุขาภิบาลเพียงไม่กี่แห่ง ปัญหาส่วนใหญ่จึงเป็นเรื่องของการกำจัดมูลฝอยอย่างไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล เช่น กำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเทกองทิ้งกลางแจ้งหรือการเผา กลางแจ้ง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาเรื่องของการจัดการมูลฝอยนอกเขตเทศบาล พบว่าส่วนใหญ่มูลฝอยชุมชนส่วนมากไม่ได้ถูกรวบรวมและนำไปกำจัดได้อย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล เป็นผลมาจากการบริการขององค์การบริหารส่วนตำบลยังไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่รับผิดชอบ

ของตนได้อย่างทั่วถึงได้ทั้งหมด ประชาชนส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดมูลฝอยกันเองด้วยวิธีการเผากลางแจ้งหรือขุดหลุมฝังกลบหรือกองทิ้งไว้บนพื้นที่ว่าง

2. การกำจัดมูลฝอย

วิธีการกำจัดมูลฝอยของชุมชนที่ได้ปฏิบัติอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันนี้มีหลากหลายรูปแบบ เช่น นำมากองทิ้งบนพื้นดิน (Dumping on land) ทิ้งลงทะเล (Dumping at sea) นำไปเลี้ยงสัตว์ (Hog feeding) หมักทำปุ๋ย (Composting) ทิ้งลงในท่อระบายน้ำเสีย (Discharge to the sewer) เผากลางแจ้ง (Open burning) เผาในเตาเผา (Incineration) และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ก) แต่การกำจัดมูลฝอยชุมชนที่ถูกหลักสุขาภิบาลและยอมรับรองว่าผลที่ได้จากการกำจัดนั้นมีความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัย หากมีการควบคุมการดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

2.1. การทำปุ๋ยจากมูลฝอย (Composting of Solid)

วิธีการหมักมูลฝอยเพื่อทำปุ๋ยอินทรีย์ อาศัยขบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) ภายใต้สภาวะการควบคุมที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการหมักมูลฝอยควรมีประมาณ 25 - 35 ต่อ 1 หากมีค่าเกินไปจะมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา และปฏิกิริยาการย่อยสลายจะลดลง แต่ถ้ามีอัตราส่วนสูงเกินไปคือ มีไนโตรเจนน้อยก็ขาดสารอาหารไนโตรเจนที่ต้องใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในระหว่างขั้นตอนของการหมักทำปุ๋ยนี้จะเกิดอุณหภูมิที่ช่วงระหว่าง 50 - 70 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำลายเชื้อโรคที่มากับมูลฝอยได้หลายชนิด ผลผลิตที่ได้คือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายมีลักษณะคล้ายดินมีสีน้ำตาลไปจนถึงดำ นำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil conditioner)

2.2 การเผา (Incineration)

การกำจัดมูลฝอยโดยใช้เตาเผาเป็นวิธีการกำจัดมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพดีมากกว่าวิธีหนึ่ง อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพและเคมีของมูลฝอยด้วยการใช้ความร้อน โดยมีอากาศหรือเชื้อเพลิงเสริมภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม สามารถลดปริมาณของมูลฝอย

ลงได้ประมาณร้อยละ 80 - 90 อุณหภูมิเผาไหม้ขั้นสุดท้ายภายในเตาเผาโดยทั่วไปอยู่ช่วงระหว่าง 850 - 1,200 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซติดไฟที่เกิดการเผาไหม้ของมูลฝอยที่ถูก การสันดาปอย่างสมบูรณ์และทำลายกลิ่น ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบและขนาดเตาเผาแต่ละประเภท ผลที่ได้จากปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซชนิดต่างๆ ไออน้ำ และฝุ่น เป็นต้น

2.3 การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill)

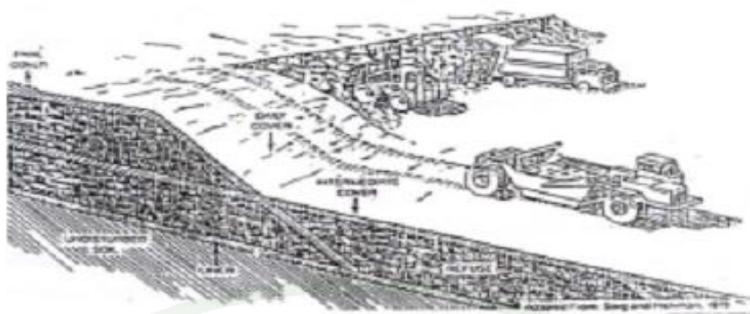
การฝังกลบมูลฝอยแบบถูกหลักวิชาการเป็นการนำมูลฝอยไปกำจัดโดยนำไปฝังกลบในพื้นที่ที่ได้จัดเตรียมไว้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมตามถูกต้องตามหลักทางวิชาการทั้งด้าน เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม วิศวกรรม สถาปัตยกรรม รวมทั้งการยอมรับของประชาชนในพื้นที่ โดยต้องทำการวางมาตรการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น การป้องกันปนเปื้อนน้ำเสียที่ ออกมาจากมูลฝอยไหลลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน การป้องกันน้ำท่วม กลิ่นเหม็น และผลกระทบต่อสภาพ ภูมิทัศน์ รูปแบบการฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล อาจใช้วิธีการฝังกลบมูลฝอยแบบขุดลึก ลงไปในชั้นดินหรือการถมให้สูงขึ้นจากระดับพื้นดิน ทั้งนี้การเลือกรูปแบบของวิธีการการฝังกลบ มูลฝอยจะถูกกำหนดตามลักษณะของสภาพภูมิประเทศเป็นหลัก

การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบ เป็นการนำมูลฝอยมาเทกองในพื้นที่ซึ่งจัดเตรียมไว้ แล้วใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดมูลฝอยให้ยุบตัวลง แล้วใช้ดินกลบทับและบดอัดเพื่อให้มูลฝอย ยุบตัวจนมีความหนาแน่นมากขึ้น หลังจากนั้นนำมูลฝอยมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับกับชั้น ดินกลบทับเพื่อป้องกันปัญหาด้านกลิ่น สัตว์หรือแมลงที่เป็นพาหะนำโรค น้ำฝนชะล้าง และเหตุ ร้ายกาจอื่นๆ สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของมูลฝอยจะเกิดขบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติ โดยจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศ (Anaerobic bacteria) ทำให้มูลฝอยเกิดการยุบตัวและมีน้ำเสียเกิดขึ้นใน ชั้นของมูลฝอย การดำเนินการฝังกลบมูลฝอยจะต้องมีมาตรการป้องกันหรือบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น และการระบายก๊าซออกจากบริเวณฝังกลบ พื้นที่ทำการฝังกลบนี้ ต้องทำการศึกษาตรวจสอบถึง ความเหมาะสม ว่าเป็นพื้นที่ว่างไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือไม่มีความเหมาะสมต่อการเกษตร ไม่ใช่ที่ลุ่ม และน้ำไม่สามารถท่วมขังได้ เป็นต้น การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลใน ประเทศไทยนิยมทำกันนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบกลบบนพื้นที่ (Area Method) และแบบขุด ร่อง (Trench Method)

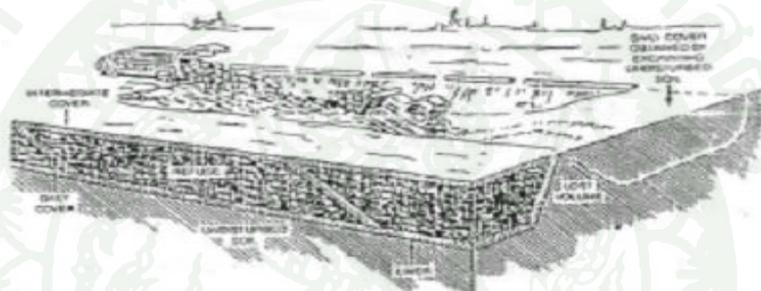
วิธีการฝังกลบบนพื้นที่ (Area Method) เป็นวิธีการที่เริ่มทำการฝังกลบมูลฝอยที่ระดับ ดินเดิมโดยไม่มีการขุดดิน ทำการบดอัดมูลฝอยตามแนวราบก่อนแล้วค่อยบดอัดในชั้นถัดไปสูงไป

เรื่อยๆจนได้ระดับที่ทำการกำหนด การฝังกลบด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องทำคันดินตามแนวขอบพื้นที่ กำจัดเพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบรับการบดอัดมูลฝอยรวมทั้งทำหน้าที่ป้องกันน้ำเสียที่เกิดจากการย่อยสลายของมูลฝอยที่บดอัดและฝังกลบแล้วไม่ให้ซึมออกด้านนอก ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้วิธีนี้ คือ ที่ราบลุ่มหรือพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย (ไม่เกิน 1 เมตร) ทำให้ไม่สามารถขุดดินเพื่อจัดการฝังกลบมูลฝอยด้วยวิธีแบบขุดร่องได้ เพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเสียจากมูลฝอยต่อน้ำใต้ดินได้ การกำจัดด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องจัดหาดินมาจากที่อื่นเพื่อทำคันดิน ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงขึ้น

วิธีการฝังกลบแบบร่องขุด (Trench Method) เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับที่ต่ำกว่าระดับดินเดิม โดยทำการขุดดินลึกลงไปให้ได้ตามระดับที่กำหนดแล้วจึงทำการบดอัดมูลฝอยให้ เป็นชั้นบางๆทับกันหนาขึ้นเรื่อยๆจนได้ระดับตามที่กำหนดของมูลฝอยบดอัดแต่ละชั้น โดยทั่วไป ความลึกของการขุดร่องจะถูกกำหนดระดับน้ำใต้ดิน อย่างน้อยส่วนที่ต่ำสุดควรอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1.0 เมตร โดยอีกระดับในฤดูฝนซึ่งจะเป็นฤดูที่ระดับน้ำใต้ดินมีระดับสูงมากที่สุดเป็นเกณฑ์ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน การฝังกลบแบบขุดร่องไม่จำเป็นต้องทำคันดินเพราะสามารถใช้ผนังของร่องขุดเป็นกำแพงขังมูลฝอยที่จะทำการบดอัด ทำให้ไม่จำเป็นต้องขนดินมาจากข้างนอกและยังสามารถใช้ดินที่ขุดออกมาแล้วนั้นกลับมาใช้กลบ มูลฝอยได้อีก



(ก) วิธีการฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area method)



(ข) วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench method)

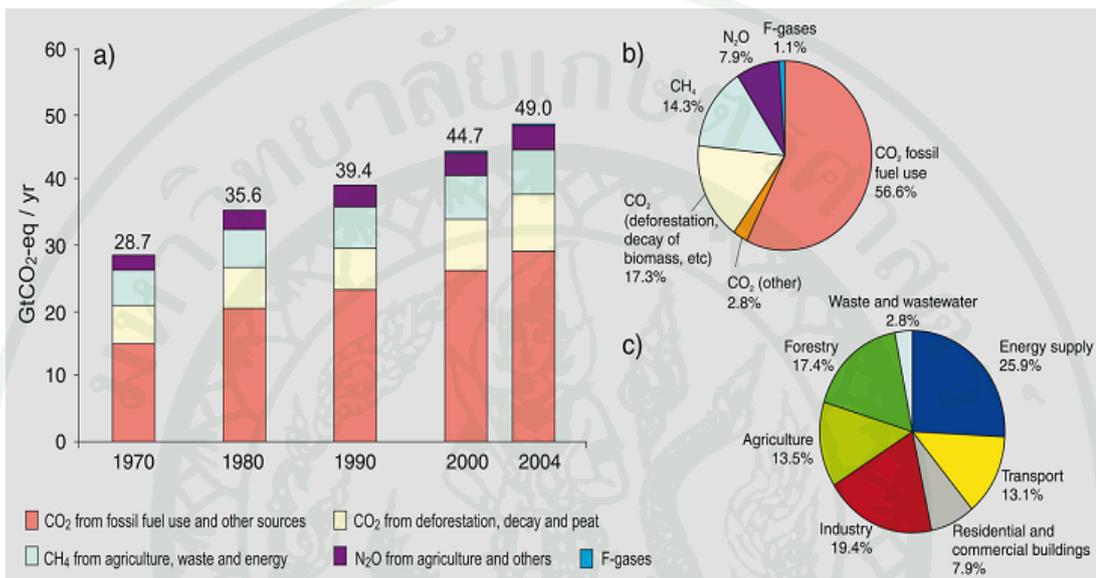
ภาพที่ 2 (ก) วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area Method) และ (ข) วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)

ที่มา: Tchobanoglous *et al.*, (1993)

3. สถานะการณ์โลกร้อนกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกจากหลุมฝังกลบ

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) คาดการณ์ว่าหากอัตราการปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกยังมีแนวโน้มสูงเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนค่าความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมีค่าประมาณ 445 - 490 ppm (eq-CO₂) จะทำให้อุณหภูมิของโลกมีค่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 2.0 - 2.4 องศาเซลเซียส และหากในชั้นบรรยากาศมีค่าองค์ประกอบความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก

อยู่ที่ 855 - 1,130 ppm (eq-CO₂) จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกราวๆ 4.9 – 6.1 องศาเซลเซียส ซึ่ง IPCC (2007) คาดการณ์ว่าภายในปี ค.ศ. 2100 อุณหภูมิของโลกจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าในยุคเริ่มต้นของการปฏิวัติอุตสาหกรรม 2.0 องศาเซลเซียส และส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงระบบสภาวะแวดล้อมของโลกให้เห็นได้อย่างเด่นชัดนั้นคือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสลมประจำถิ่น ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำแข็งขั้วโลกที่ลดลง เป็นต้น



ภาพที่ 3 (a) ปริมาณปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ระหว่างปี ค.ศ. 1970 – 2004 (b) สัดส่วนก๊าซเรือนกระจกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ในปี ค.ศ. 2004 เมื่อเทียบเป็น CO₂ –eq (c) สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ในปี ค .ศ. 2004 เมื่อเทียบเป็น CO₂–eq

ที่มา: IPCC (2007)

IPCC (2007) รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก พบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของโลกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ได้ทำให้ความเข้มข้นของกลุ่มก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมีปริมาณที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 3 ได้แสดงให้เห็นถึงการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ได้ปลดปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกมากกว่าที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1970 - 2004 มีปริมาณการปลดปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นราวๆร้อยละ 70 โดยในช่วงระยะเวลาดังกล่าว ได้มีการประเมินว่าก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์

ซึ่งเป็นก๊าซที่ถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุดในกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณถึงร้อยละ 80 (IPCC, 2007)

ตารางที่ 2 ศักยภาพก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก

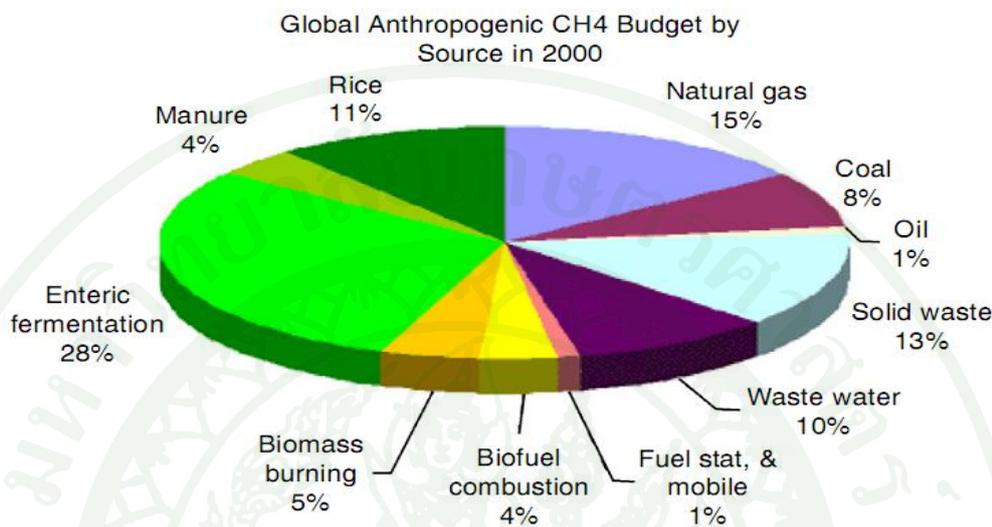
ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases)	ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	1
มีเทน (CH ₄)	21
ไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)	310
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	140 – 11,700
เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PCFs)	6,500 – 9,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)	23,900

ที่มา: IPCC (1992)

ส่วนก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซในกลุ่มของก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญรองลงมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนนี้ยังมีความสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า (ดังตารางที่ 2) และที่ก๊าซมีเทนเมื่อถูกปล่อยในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์แล้วจะทำปฏิกิริยากับโอโซน ฝุ่นละออง และกลุ่มก๊าซสารประกอบอื่นๆ ในชั้นบรรยากาศ ก๊าซนี้จะทำปฏิกิริยากับก๊าซอื่นๆ ในชั้นบรรยากาศไปเรื่อยๆ ในช่วง 10 - 20 ปี จนสุดท้ายจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในที่สุด ซึ่งทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำก็ยังสามารถในการดักจับความร้อนด้วย แม้ว่าเมื่อเทียบโมเลกุลต่อโมเลกุลจะค่าของการดูดกลืนความร้อนน้อยกว่าแต่ก่อนก็ตาม ปฏิกิริยาที่กล่าวมานี้จึงซ้ำเติมผลกระทบของมีเทนต่อสภาวะโลกร้อนให้ทวีความรุนแรงมากขึ้นจนอาจทำให้กลายเป็นสาเหตุของปัญหาที่ค่อนข้างใหญ่โตกว่าที่เคยเชื่อกัน กล่าวโดยสรุปขณะนี้ถือกันว่ามีเทนมีส่วนทำให้โลกร้อนมากขึ้นถึง 2 ใน 3 เมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์

IPCC (1992) ใน ค.ศ. 1990 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศมีค่า 1.72 ppm ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมเป็น 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ค.ศ. 1750 ในตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าว อัตราของก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.9 ต่อปี มีการคาดการณ์กัน

ว่า ถ้าหากแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันนี้ จะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าภายในระยะเวลาอีกประมาณ 200 ปี



ภาพที่ 4 สัดส่วนของการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ใน ค.ศ. 2000

ที่มา: USEPA (2002)

ในปัจจุบันนี้ก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อย ขึ้น ไปสู่ชั้นบรรยากาศส่วนมากเกิดขึ้นมา จากการกระทำของมนุษย์ประมาณร้อยละ 70 และเป็นผลที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งการกำจัดมูลฝอย ด้วยวิธีการฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลที่นิยมใช้ในปัจจุบันก็เป็นกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ถ้าหากมีปริมาณ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมา จากหลุมฝังกลบ ในปริมาณที่เพียงพอกับความ ค่ำค่าทางเศรษฐกิจ และมีปริมาณที่เพียงพอจน มีแรงจูงใจ พอที่จะมีการนำก๊าซมีเทนกลับมาใช้ประโยชน์ได้ด้วยการทำให้เกิดพลังงานความร้อนหรือผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

USEPA ได้ทำการประเมินปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศจากการกระทำของมนุษย์พบว่า ในปี ค.ศ.2000 มีปริมาณถึง 282.6 ล้านตัน ซึ่งในจำนวนนี้มีถึงร้อยละ 13 หรือจำนวน 36.4 ล้านตัน เป็นผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมาจากหลุมฝังกลบ (USEPA, 2002) ส่วนในการศึกษาของ Stern and Kaufman (1998) พบว่าในปี 1985 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 36 ล้านตัน ออกจากพื้นที่ หลุมฝังกลบมูลฝอยตามสมมติฐานที่ว่า การเกิดขึ้นของมูลฝอย

ชุมชนและหลุมฝังกลบมูลฝอยนั้น มีความสัมพันธ์ไปตามมูลค่าของอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของโลก โดยพิจารณาจากข้อมูลในช่วงระหว่าง 1985 - 2000 พบว่าเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจมีมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 58 และคาดการณ์ว่าในปี 2000 อาจมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนประมาณ 54 ล้านตัน ขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศแสดงให้เห็นว่าการประเมินนี้มีค่าสูงกว่าของการประเมินโดย (USEPA, 2002) สอดคล้องกับ Nickolas *et al.*, (2006) ที่ทำการเสนอข้อมูลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝังกลบกับปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วโลกพบว่าหากปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีค่า 1.5 พันล้านตันต่อปี จะพบว่าการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบทั่วโลกจะมีประมาณปีละ 75 พันล้านลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 54 ล้านตันต่อปี แสดงให้เห็นว่าการประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศด้วยวิธีการเปรียบเทียบปริมาณของมูลฝอยนั้นมีค่าสูงกว่าวิธีการประเมินของ (USEPA, 2002)

4. การเกิดก๊าซภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย (Generation of Landfill Gas)

ภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย จะเกิดก๊าซมีเทนขึ้นในช่องว่างของมูลฝอยในสภาวะเป็นกระบวนการย่อยสลาย แบบไร้อากาศ (Anaerobic Decomposition) โดยมีการใช้สารประกอบออกซิเจนที่ได้มาจากส่วนประกอบทางเคมีของมูลฝอย กระบวนการของการเกิดก๊าซที่เกิดขึ้นภายในมูลฝอยนั้น ถูกกำหนดขึ้นด้วยสภาวะแวดล้อมต่างๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิ pH ความชื้น ปริมาณออกซิเจน (ขององค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย)

การเกิดก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยนั้นก่อให้เกิดความดันภายในหลุมฝังกลบที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นจะพุ่งขึ้นออกมาสู่บรรยากาศตามแนวตั้งได้ โดยกระบวนการ 2 แบบ คือ การแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion) และการพาของมวลสาร (Convective Mass Transfer) ซึ่งเป็นผลมาจากความดันและเป็นกระบวนการที่มีผลสำคัญอย่างมากสำหรับการไหลของก๊าซใต้ดิน

กระบวนการเกิดก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยแบ่งได้เป็น 5 ระยะ

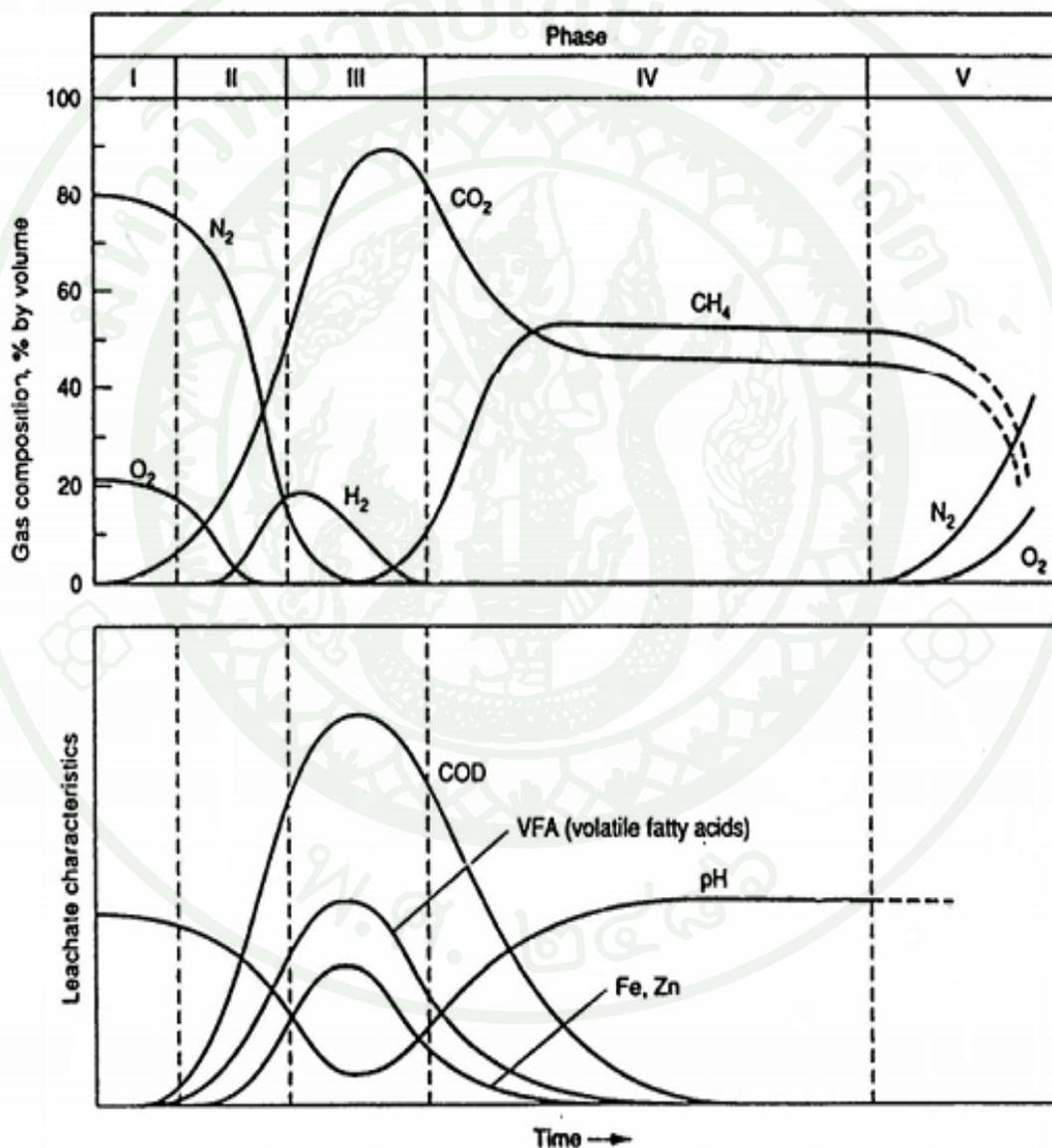
ระยะที่ 1 การปรับตัว (Initial Adjustment) เป็นระยะแรกที่มูลฝอยเริ่มเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบ เกิดการย่อยสลาย มูลฝอยแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) โดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนจากอากาศที่ยังอยู่ภายในช่องว่างของมูลฝอยที่อยู่ภายในหลุมฝังกลบ

ระยะที่ 2 ระยะเปลี่ยนแปลง (Transition Phase) ช่วงระยะเวลานี้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่อยู่ภายในช่องว่างมูลฝอยถูกใช้ไปจนลดลงอย่างมาก และกระบวนการย่อยสลายมูลฝอยก็จะเริ่มเข้าสู่สภาวะไร้อากาศโดยจุลินทรีย์จะเริ่ม มีการใช้ก๊าซออกซิเจนจากสารประกอบจำพวก NO_3^- และ SO_4^{2-} เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron Acceptors) และกระบวนการรีดิวซ์จนกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ การเริ่มการเปลี่ยนสภาพของการย่อยสลายมูลฝอยจนทำให้กลายเป็นกระบวนการย่อยสลายมูลฝอยแบบไร้อากาศ (Anaerobic Decomposition) ในที่สุด

ระยะที่ 3 ระยะของการเกิดกรด (Acid Phase) เป็นระยะของการเกิดกรด โดยขั้นแรก จะเกิดกระบวนการ Hydrolysis เป็นกระบวนการเปลี่ยนขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารที่ถูกย่อยสลายให้มีขนาดที่เล็กลง จนจุลินทรีย์สามารถนำสารอาหารผ่านผนังเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหาร ในกระบวนการที่ทำให้สารโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่เหล่านี้มีขนาดเล็กลงได้ด้วย การที่จุลินทรีย์ขับเอ็นไซม์ออกมาจากนอกเซลล์ ขั้นที่ 2 คือ Acidogenesis ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการ Hydrolysis คือ กรดอะซิติก (Acetic) และกรดฟูลวิก (Facultative) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระบวนการนี้ จะพวก Facultative หรืออาจเรียกว่าเป็นพวก Acid Former ส่งผลทำให้ค่าของน้ำชะมูลฝอยมีค่า pH ลดลงจากเดิมถึง 5 เท่าหรือต่ำกว่า เนื่องจากมีกรดอินทรีย์และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ค่า BOD COD Conductivity ก็มีค่าสูงขึ้นในระยะนี้ เนื่องจากสารละลายของ Organic Acid สารอนินทรีย์ และโลหะหนัก ที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอย แต่ถ้าหลุมฝังกลบมูลฝอยยังไม่เกิดน้ำชะมูลฝอยสารละลายต่างๆที่เกิดขึ้นในระยะที่ 3 นี้จะถูกดูดซับอยู่ในมูลฝอยหรือเรียกว่า ค่าความจุภาคสนาม (Field Capacity) คือความสามารถของการดูดซับน้ำในมูลฝอย โดยที่ไม่ก่อให้เกิดการไหลของน้ำชะมูลฝอยออกมา

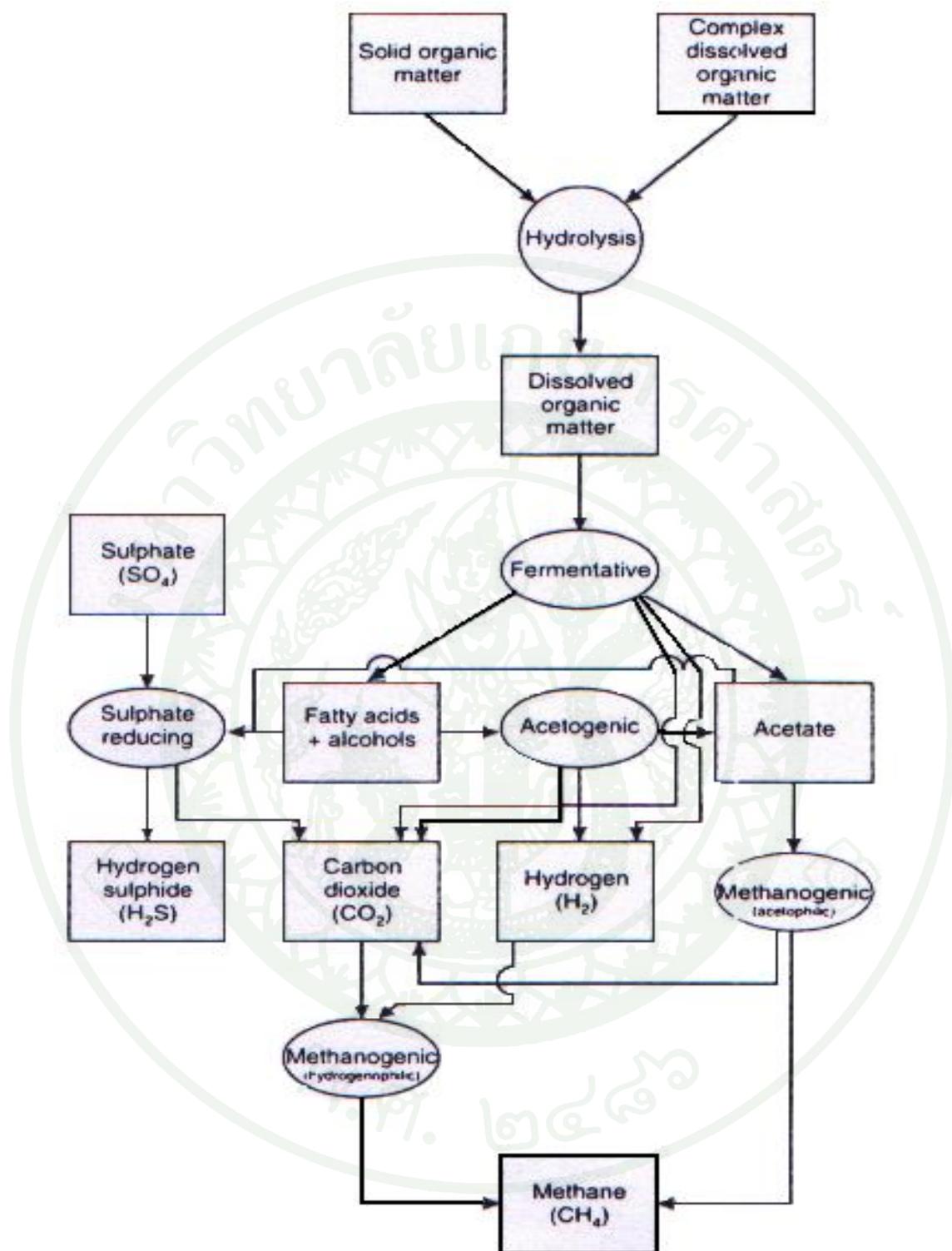
ระยะที่ 4 ระยะของการเกิดก๊าซมีเทน (Methane Fermentation Phase) ในช่วงระยะเวลานี้ เป็นสถานะที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่เรียกว่า Methanogenic Bacteria: ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ ทำให้ได้ผลผลิตตามมาเป็น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน นอกจากการที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้เจริญเติบโตอย่างช้าๆด้วยการย่อยสลายกรดอินทรีย์ ส่งผลทำให้กรดอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอยมีปริมาณลดลง ประกอบกับการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลให้ระดับ pH ของน้ำชะมูลฝอยมีค่าที่สูงขึ้นสอดคล้องกับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำที่ลดลง

ระยะที่ 5 ระยะคงตัว (Maturation Phase) ระยะหลังจากที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนมากให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ (Biodegradable Organic) เรียบร้อยแล้ว ค่าองค์ประกอบของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบจะคงเหลือแต่สารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเริ่มลดลง และน้ำชะมูลฝอยจะมีองค์ประกอบของสารจำพวก Humic และ Fulvic Acid ซึ่งยากต่อการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซและค่าดัชนีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ

ที่มา: Tchobanoglous *et al.*, (1993)



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย

ที่มา: Christensen and Kjeldsen (1989)

5. องค์ประกอบและคุณลักษณะของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

หลังจากการฝังกลบมูลฝอยแล้วจะเกิดก๊าซชีวภาพจากมูลฝอยที่ฝังกลบที่ถูกรเรียกว่า Landfill Gas (LFG) ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้มาจากกระบวนการสลายขององค์ประกอบสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในมูลฝอยชุมชน ดังนั้นถ้าองค์ประกอบของมูลฝอยมีอินทรีย์ สารในสัดส่วนที่มากก็มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพที่มากขึ้นตามมา แต่ทั้งนี้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆภายในหลุมฝังกลบ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ฤดูกาล เป็นต้น

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบโดยทั่วไป ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีเทน (CH_4) ไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) เป็นต้น ก๊าซที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบที่พบส่วนใหญ่ จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนมากที่สุดถึงร้อยละ 40 - 60 และ 45 - 60 ตามลำดับ โดยก๊าซที่พบจะแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบก๊าซโดยทั่วไปจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอย

องค์ประกอบก๊าซ	ร้อยละโดยปริมาตร
มีเทน	45 - 60
คาร์บอนไดออกไซด์	40 - 50
ไนโตรเจน	2 - 5
ออกซิเจน	0.1 - 1.0
ซัลไฟด์, ไคซัลไฟด์, เมอร์แคปแทนส์	0 - 1.0
แอมโมเนีย	0 - 0.2
ไฮโดรเจน	0 - 0.2
คาร์บอนไดออกไซด์	0 - 0.2
ก๊าซอื่นๆ	0.01 - 0.06

ที่มา: Tchobanoglous *et al.*, (1993)

หลังจากทำการฝังกลบมูลฝอยมาแล้วเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 50 - 60 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 40 - 50 โดยสังเกตได้ว่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบก๊าซมีเทนจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย และค่าองค์ประกอบของ

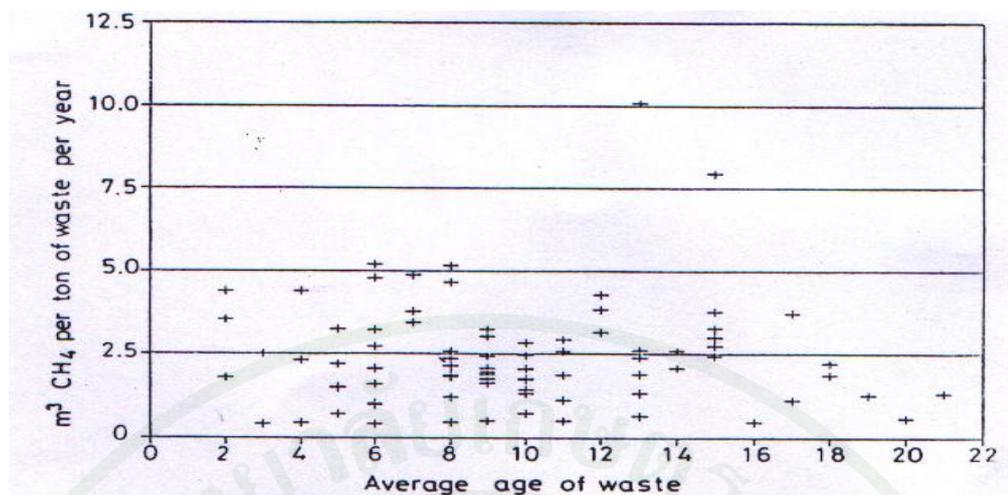
ก๊าซภายในหลุมฝังกลบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งเมื่อเริ่มมีการแพร่กระจายของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบ ซึ่งสังเกตได้จากองค์ประกอบของก๊าซออกซิเจนภายในหลุมฝังกลบเริ่มมีค่าสูงขึ้นซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อมีการฝังกลบมูลฝอยมานานหลายปี อาจเป็นเรื่องยากที่จะคาดการณ์ได้ว่าภายในหลุมฝังกลบอาจกลับเข้าสู่ไปสู่กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนอีกครั้งหนึ่งเมื่อระยะเวลาเท่าไร (Christensen and Kjelden, 1989) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Merz and Stone (1970) ที่ทำการศึกษาก๊าซองค์ประกอบหลักที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ฝังกลบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ภายในระยะเวลา 4 ปีของการฝังกลบมูลฝอย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของก๊าซหลังจากที่ได้ฝังกลบในเซลล์ที่ระยะเวลาที่ต่างกัน

ช่วงระยะเวลาหลังจากฝังกลบ ในแต่ละเซลล์ (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ร้อยละต่อปริมาตร		
	ไนโตรเจน (N ₂)	ออกซิเจน (O ₂)	มีเทน (CH ₄)
0 – 3	5.2	88	5
3 – 6	3.8	76	21
6 – 12	0.4	65	29
12 – 18	1.1	52	40
18 – 24	0.4	53	47
24 – 30	0.2	52	48
30 – 36	1.3	46	51
36 – 42	0.9	50	47
42 – 48	0.4	51	48

ที่มา: Merz and Stone (1970)

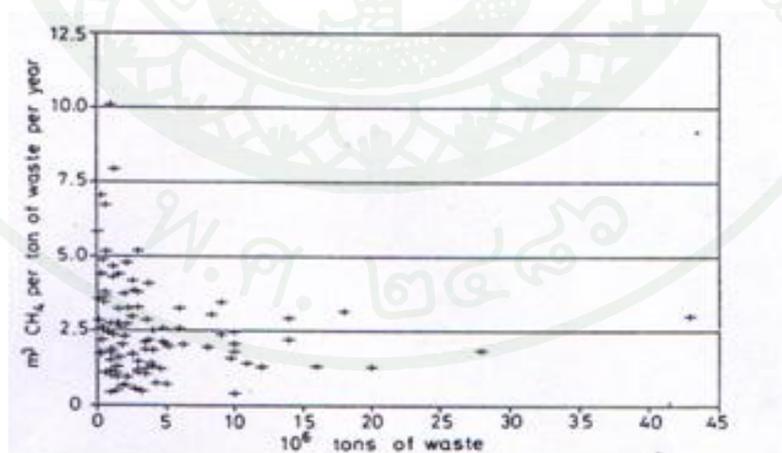
จากบทความของ Willumsen (1996) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากรายงานการวิจัยของ Bevenyi and Gould (1989), Richards and Alston (1990), Richards *et al.* (1992) และ Gendebien *et al.* (1992) เพื่อศึกษาอัตราการผลิตก๊าซจากหลุมฝังกลบจำนวน 86 แห่งทั่วโลก พบว่าอัตราของการผลิตก๊าซมีเทนจะอยู่ที่ช่วงระหว่าง 0.5 - 10 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมูลฝอยต่อปี โดยพบว่ามีที่ค่าเฉลี่ยการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ที่ 2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมูลฝอยต่อปี จากข้อมูลภาคสนามสรุปได้ว่า ไม่พบว่าอายุของการฝังกลบมูลฝอยจะมีค่าความสัมพันธ์อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะมีดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตก๊าซมีเทนกับอายุการฝังกลบมูลฝอย

ที่มา: Willumsen (1996)

และจากข้อมูลเดียวกัน แสดงถึงการผลิตก๊าซมีเทนจากขนาดพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยพบว่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะมีความผันผวนเป็นอย่างมากในหลุมฝังกลบที่มีปริมาณของมูลฝอยจำนวนน้อยกว่า 3 ล้านตัน ส่วนในหลุมฝังกลบมูลฝอยขนาดใหญ่ที่มีการฝังกลบมูลฝอยมากกว่า 10 ล้านตัน จะให้ผลผลิตของก๊าซมีเทนอยู่ที่ 1.5 – 3.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมูลฝอยต่อปี ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบมูลฝอยจำนวน 86 แห่งทั่วโลก

ที่มา: Willumsen (1996)

นอกจากนี้แล้วยังมีก๊าซชีวภาพที่เกิดยังสามารถบอกถึงกระบวนการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยแบ่งจุลินทรีย์ได้ออก 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สารประกอบของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Compounds) กลุ่มที่ใช้สารประกอบของก๊าซซัลเฟอร์ (Sulphur Compounds) และกลุ่มที่ใช้สารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)

6. องค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยเกิดมาจากค่าความชื้นของมูลฝอยที่มีปริมาณมากเกินกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของมูลฝอยจนทำให้น้ำต้องไหลการซึมออกมภายนอก และความชื้นที่ในมูลฝอยเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอย รวมไปถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนที่ซึมผ่านจากชั้นดินกลบทับและค่าแรงดันของน้ำใต้ดินที่เข้าสู่หลุมฝังกลบมูลฝอย ปริมาณการซึมผ่านของน้ำจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นเมื่อผิวหน้าดินของหลุมฝังกลบมีลักษณะแบนราบและไม่มีพืชปกคลุมดิน ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบนั้น ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ อายุของการฝังกลบมูลฝอย ภูมิประเทศ ชนิดและปริมาณของมูลฝอย ชนิดดินชั้นกลบทับสุดท้าย รวมไปถึงพืชคลุมดิน เป็นต้น น้ำชะมูลฝอยเป็นของเหลวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเปลี่ยนรูปมูลฝอย ทางเคมี ภายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยมีน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย และค่าประจุของสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง (Christensen *et al.*, 1992) โดยองค์ประกอบหลักของน้ำชะมูลฝอยจะมีสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นละลายอยู่ในปริมาณสูง เช่น แอมโมเนีย คลอไรด์ ซัลเฟต กรดคาร์บอนซิลิกันธรรมชาติ และสารประกอบโลหะหนัก เช่น เหล็ก โซเดียม แคลเซียม ในปริมาณสูง (Cambell, 1982)

การแปรผันตามองค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยจะมีผลของการเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่ออายุ และช่วงการเปลี่ยนแปลงกระบวนการย่อยสลายมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย เช่น ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในช่วงของระยะเกิดกรด (Acid Phase) นั้นค่า pH ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระดับที่ต่ำ ส่วนค่าความเข้มข้นของ BOD₅, TOC, COD, สารอาหาร และโลหะหนักมีค่าสูงหากอยู่ในช่วงระยะของการเกิดก๊าซมีเทน (Methane Fermentation Phase) ค่า pH จะอยู่ระหว่างช่วง 6.5 - 7.5 ค่าความเข้มข้นของ BOD₅, COD, TOC, สารอาหาร และโลหะหนักจะมีปริมาณลดต่ำลง โดยเฉพาะช่วงค่า pH ที่มีสภาพเป็นกลางจะมีความสามารถในการละลายสารจำพวกโลหะหนักได้ต่ำ สำหรับการเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพของน้ำชะมูลฝอย นั้นสามารถทราบด้วยอัตราส่วนของ BOD/COD ระยะเริ่มแรกอัตราส่วนจะอยู่ที่ค่ามากกว่า 0.5 อยู่ในสถานะของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งพบได้ในหลุมฝังกลบที่มีอายุ

น้อย ส่วนหลุมฝังกลบที่มีอายุมากอัตราส่วนของ BOD/COD จะลดต่ำลงอยู่ระหว่างช่วง 0.05 - 0.2 ทั้งนี้เป็นผลมาจากน้ำชะมูลฝอยของหลุมฝังกลบเก่าจะมีองค์ประกอบของกรดฮิวมิก และฟัลวิก ซึ่งย่อยสลายได้ยาก จากการเปรียบเทียบน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่อายุต่างๆ พบว่าเกือบทุกคัชนี มีค่าลดต่ำลง ยกเว้นค่า pH (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยตามอายุการฝังกลบมูลฝอย

พารามิเตอร์ (mg/l)	ความเข้มข้นน้ำชะมูลฝอยตามอายุ (ปี)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
TDS	10,000 - 25,000	5,000 - 10,000	2,000 - 5,000	< 1,000
pH	3 - 6	6 - 7	7 - 7.5	7.5
BOD	10,000 - 25,000	1,000 - 4,000	50 - 1,000	< 50
COD	15,000 - 40,000	10,000 - 20,000	1,000 - 5,000	< 1,000
Nitrogen (Kjldahl)	1,000 - 3,000	400 - 600	75 - 300	< 50
NH ₃ - N	500 - 1,500	300 - 500	50 - 200	< 30
Chloride	1,000 - 3,000	500 - 2,000	100 - 500	< 100
Sulphate	500 - 2,000	200 - 1,000	50 - 200	< 50
Phosphorous	100 - 300	10 - 100	-	< 10
Calcium	2,000 - 4,000	500 - 2,000	300 - 500	< 300
Sodium and Potassium	2,000 - 4,000	500 - 1,500	100 - 500	< 100
Magnesium and Iron	500 - 1,500	500 - 1,000	100 - 500	< 100
Zinc and Pluminum	100 - 200	50 - 100	10-50	< 10

หมายเหตุ – = ไม่มีข้อมูล

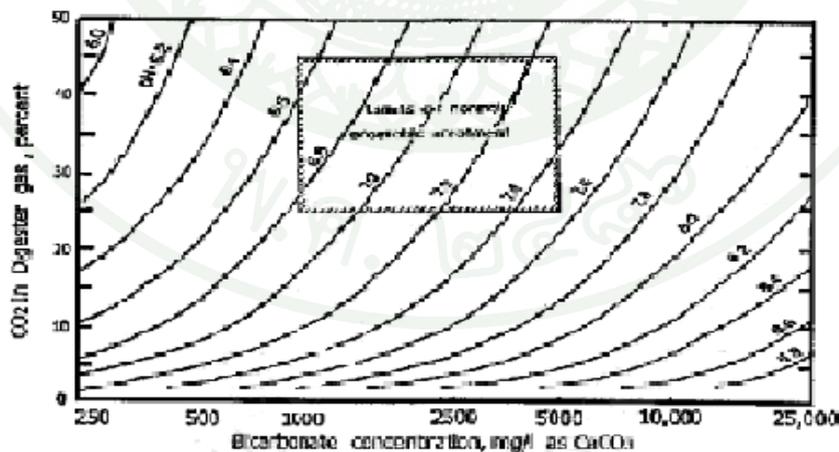
ที่มา: Farquhar (1989)

7. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน

7.1. พีเอช (pH)

เนื่องจากจุลินทรีย์จำพวก Methanogenic Bacteria ที่ทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซมีเทน นั้นมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานควรอยู่ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6.5 - 7.5 ในการศึกษา เรื่องค่าของพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบ จะใช้การหมักมูลฝอยในถังจำลอง ตาม รายงานของ Klink and Ham (1982) พบว่าอัตราของการแพร่ระบายนของก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบที่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอควรมีค่าพีเอชอยู่ระหว่างช่วง 6.8 - 7.5 จากการศึกษาที่ได้ทำการทดลองใน หลุมฝังกลบมูลฝอยได้พบว่าค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จำพวก Methanogenic Bacteria มีช่วงอยู่ที่ประมาณ 6.8 - 7.5 และเมื่อค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 6.2 จะเริ่มมีความเป็นพิษต่อ จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน ส่งผลทำให้การอัตราการแพร่ระบายนของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝัง กลบลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kinman *et al.* (1987) ที่ได้เติมสารละลาย Calcium Carbonate ลงไปในถังการฝังกลบมูลฝอยจำลอง เพื่อควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic Bacteria สรุปผลได้ว่าการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 6.5 - 8.0 ส่งผลต่ออัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น

7.2. ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)



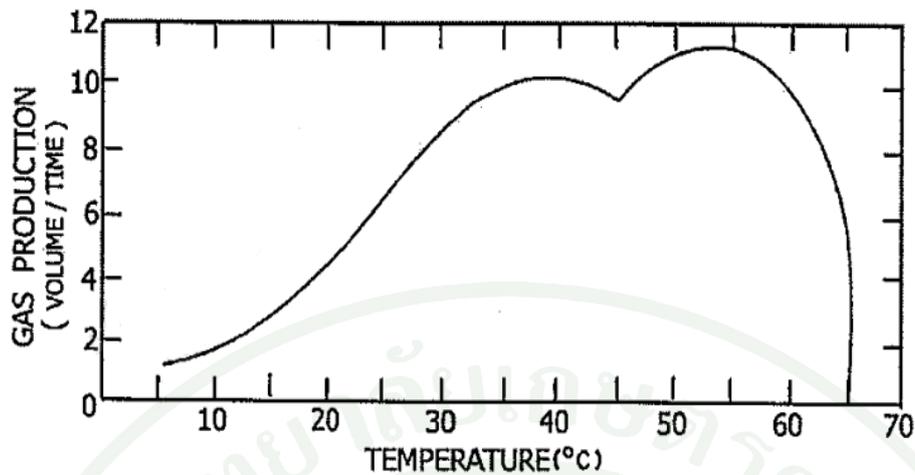
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของพีเอช คาร์บอนไดออกไซด์ และความเป็นด่างไบคาร์บอเนต

ที่มา: McCarty (1964)

ค่าความเป็นด่างตามธรรมชาตินี้จะบ่งบอกถึงจะทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของระดับพีเอชให้มีค่าเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ให้ย่อยสลายมูลฝอย และเพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอินทรีย์ที่ไม่แตกตัว (Undissociate Organic Acid) เกิดขึ้นในช่วง Acid Phase นั้นทำให้ค่าพีเอชของระบบมีค่าลดต่ำลง จนอาจเป็นอันตรายต่อการทำลาย Methanogenic Bacteria โดยทั่วไป กำหนดให้ระบบการหมักแบบ ไร้ออกซิเจนควรมีสภาพค่าความเป็นด่างประมาณ 2,500 - 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต และผลการทดลองของ Alvarez and Vitores (1986) พบว่า บัฟเฟอร์มีส่วนสำคัญในการเริ่มปฏิกิริยาการย่อยสลายและได้ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ในการทดลองโดยควรมีค่าความเป็นด่างที่ไม่ต่ำกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต

7.3. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายแบบ ไร้อากาศมี 2 ช่วง คือ ช่วงมีโซฟิลิด (Mesophilic Range) ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ช่วงเหมาะสม 20 - 40 องศาเซลเซียส และช่วงเทอร์โมฟิลิด (Thermophilic Range) มีค่า 50 - 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ ดังภาพที่ 9 ของ Price and Cheremisinoff (1981) ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะมีผลโดยตรงกับการสร้างก๊าซชีวภาพจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส การสร้างก๊าซชีวภาพจะลดลงทั้งนี้เป็นเพราะช่วงค่าของอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม กับ จุลินทรีย์ทั้ง 2 ประเภท ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิด (Thermophilic Range) จะเกิดพลังงานความร้อนและปริมาณก๊าซที่มากขึ้น รวมทั้งก่อให้เกิดการทำลายเชื้อโรค ได้ก็ตาม แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงนี้เพียงแค่ 1 - 2 องศาเซลเซียส ก็มีผลอย่างมากกับปริมาณก๊าซขึ้นที่เกิดจากการรายงานของ Buivid *et al.* (1980) และ Ehrig *et al.* (1986) ได้ทำการทดลองในแบบจำลอง หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชนในห้องปฏิบัติการ การหมักมูลฝอยที่อุณหภูมิที่ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส จะไปเพิ่มการผลิตก๊าซจากเดิมก๊าซถึงร้อยละ 100 ในขณะที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 20 - 60 องศาเซลเซียส จะมีส่วนที่สนับสนุนให้เกิดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และอัตราการเกิดก๊าซมีเทน (Kinman *et al.*, 1987) แต่เป็นสิ่งที่ทำได้ยากเป็นอย่างยิ่งในทางปฏิบัติการที่จะเพิ่มอุณหภูมิให้กับพื้นที่ภายในหลุมฝังกลบเพื่อเพิ่มปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์



ภาพที่ 10 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อระยะเวลาการย่อยสลายสารอินทรีย์

ที่มา: Price and Cheremisinoff, 1981

7.4. ค่าความชื้น (Moisture)

ค่าความชื้นหรือองค์ประกอบของน้ำในมูลฝอยนั้นเป็นสารตั้งต้นที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ค่าของความชื้นที่ต่ำสุดที่จุลินทรีย์สามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในมูลฝอยได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพจะอยู่ในระหว่างช่วงร้อยละ 10 - 15 โดยทั่วไปค่าความชื้นของมูลฝอยอยู่ที่ช่วงประมาณร้อยละ 60 - 80 จะทำให้เกิดปริมาณของก๊าซมีเทนที่สูงสุด

รายงานการศึกษาภายในประเทศของ Karnchanawong *et al.*, (1995) และ สมใจ กาญจนวงศ์ (2539) แสดงให้เห็นว่าการฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูฝน การย่อยสลายจะเข้าสู่ช่วง Methanogen ในระยะเวลาเพียง 150 - 200 วันเท่านั้น ในขณะที่การฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูแล้ง ระยะเวลาของการย่อยสลายที่เข้าสู่ช่วง Methanogen ประมาณ 500 วัน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นในพื้นที่การฝังกลบมูลฝอยมีผลต่อการทำให้เกิดก๊าซมีเทนในช่วงระยะเวลาที่เร็วขึ้น ส่วนการศึกษาของ วิจารย์ (2543) พบว่าปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ โดยผลจากการทดลองพบว่าในช่วง 6 สัปดาห์แรกที่ไม่มีการฝนตกในพื้นที่ฝังกลบจะมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำ แต่หลังจากที่มีฝนตกอย่างต่อเนื่องในช่วงสัปดาห์ที่ 7 - 14 ส่งผลให้ปริมาณของก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากสัปดาห์ที่ 15 ปริมาณฝนมีแนวโน้มลดลงปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ก็มีค่าลดลง

7.5. ธาตุอาหาร (Nutrient)

จุลินทรีย์จำพวกไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) มีความต้องการธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารเสริมเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์และการแบ่งของเซลล์จุลินทรีย์โดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโปแตสเซียม (K) จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะทำการดูดซับอนุภาคของสารอาหารขนาดเล็กเข้าไปในเซลล์ถึงแม้จะมีความต้องการสารอาหารน้อยกว่าจุลินทรีย์จำพวกที่ใช้ออกซิเจน โดย McCarty (1964) เสนอว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมวลของสารอินทรีย์ (คิดอยู่ในรูปของ COD) , ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ควรอยู่ที่ 100 : 0.44 : 0.08 โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะไม่ใช่ข้อจำกัดของมูลฝอยที่ผสมอยู่ในหลุมฝังกลบมูลฝอย แต่เนื่องด้วยการที่มูลฝอยไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด จึงทำให้เกิดส่วนที่เป็นข้อจำกัดของสารอาหาร ซึ่งฟอสฟอรัสน่าจะเป็นสารอาหารที่เป็นข้อจำกัดของกระบวนการของจุลินทรีย์จำพวกย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

McCarty (1964) ได้ทำการคำนวณเพื่อหาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการด้วยการคิดเฉลี่ยค่าของสูตรเคมี $C_5H_7O_3N$ แทนเซลล์จุลินทรีย์ ได้ผลว่าจำเป็นต้องมีค่าองค์ประกอบไนโตรเจนอยู่ที่ร้อยละ 11 ของน้ำหนักเซลล์ที่เป็นของแข็งระเหย และควรมีค่าองค์ประกอบฟอสฟอรัสประมาณ 1/5 ของน้ำหนักเซลล์ที่เป็นของแข็งระเหย นอกจากนี้ยังพบว่ามีการชนิดอื่นที่ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นเมื่อมีความเข้มข้นต่ำและเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เมื่อมีความเข้มข้นของสารประกอบที่สูงขึ้น ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความเข้มข้นของธาตุที่มีประจุไอออนบวกในระดับที่เป็นสารกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ประจุบวก	ระดับความเข้มข้น มก./ล. (Concentration; mg/l)		
	มีฤทธิ์กระตุ้น	มีฤทธิ์ยับยั้งปานกลาง	มีฤทธิ์ยับยั้งรุนแรง
โซเดียม	100 - 200	3,500 - 5,500	8,000
โปแตสเซียม	200 - 400	2,500 - 4,500	12,000
แคลเซียม	100 - 200	2,500 - 4,500	8,000
แมกนีเซียม	75 - 150	1,000 - 1,500	3,000

ที่มา: McCarty (1964)

ส่วนธาตุอาหารเสริมเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์มีความจำเป็นต้องนำไปใช้ในการดำรงชีวิต หากจุลินทรีย์ขาดธาตุอาหารเสริมเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์เป็นโรคหรืออาจส่งผลทำให้กระบวนการทำงานของระบบต่างๆที่เกิดภายในตัวจุลินทรีย์ทำงานได้อย่างไม่สมบูรณ์

ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ทั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ซัลเฟตและกลุ่ม Methanogenic Bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ด้วยกันทั้งคู่ จากรายงานของการศึกษาโดยการใช้อัดหมักและการทดลองแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยภายในห้องปฏิบัติการ นั้นแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหารที่มีปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะมีผลกับการลดลงของปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบได้อย่างน่าสนใจ (Stegmann and Spendlin, 1986) ซึ่งตรงข้ามกับผลการศึกษาของ Zehnder *et al.*, (1982) ที่ไม่พบว่าความเข้มข้นของซัลเฟตมีเชื่อมโยงเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic Bacteria แต่เป็นผลเนื่องมาจากสารประกอบซัลเฟตให้พลังงานสูงกว่าจึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ซัลเฟตสามารถที่จะเจริญเติบโตได้ดีกว่ากลุ่ม Methanogenic Bacteria

8. ปัจจัยที่มีผลกับการเกิดก๊าซและการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย

ความเป็นจริงแล้วในระบบปฏิบัติการฝังกลบมูลฝอยจริงนั้น เราไม่สามารถที่จะควบคุมปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งของกระบวนการทางชีวภาพให้ได้เพียงปัจจัยเดียว เพราะปัจจัยของกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพในธรรมชาตินั้นจะมีผลกระทบที่มีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน จึงเป็นเรื่องยากที่เราจะประเมินได้อย่างชัดเจนว่าปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมีผลเฉพาะเจาะจงต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

8.1 องค์ประกอบมูลฝอย (Composition)

ถ้าองค์ประกอบของมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในสัดส่วนที่สูงก็มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงขึ้นด้วยผลการศึกษาวิจัยของ Barlaz *et al.*, (1987) แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารอินทรีย์ที่มากขึ้นและ Combs *et al.*, (1988) ได้ทำการวิจัยผลของการแยกประเภทมูลฝอยต่อพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลฝอย สรุปได้ว่ามูลฝอยที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายจะมีผลทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนได้มากขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาของ Barlaz *et al.*, (1987)

ตาราง 7 สัดส่วนคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงเป็นก๊าซจากการหมักองค์ประกอบมูลฝอยแต่ละชนิด

ชนิดขององค์ประกอบ	% CH ₄	% CO ₂
กระดาษหนังสือพิมพ์	47.5	37.6
นิตยสาร	47.9	39.0
กล่องที่ทำมาจากซีลื้อย	49.4	39.0
ขนมปัง	34.4	27.4
มันฝรั่ง	36.7	32.5
แอปเปิ้ล	28.1	21.9
ถั่ว	39.6	21.7
พริกหยวกและหัวหอม	40.9	32.3
มูลฝอยใหม่ 2 ส่วน:มูลฝอยที่ผ่านการหมักแล้ว 1 ส่วน	46.4	35.5

ที่มา: Barlaz *et al.*, (1987)

ส่วนการวิจัยของ Stegmann and Spendlin (1986) และ Wolffson (1985) ได้ทำการหมักมูลฝอยภายในแบบจำลองหลุมฝังกลบด้วยการเพิ่มปริมาณองค์ประกอบของกระดาษพบว่าปริมาณของก๊าซชีวภาพภายในช่วงเวลา 250 วัน จะไม่มีการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ทดลองทำการหมักสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จากบ้านเรือนและสวน จะส่งผลให้กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนต้องเลื่อนระยะเวลาออกไปเป็นผลเนื่องมาจากการผลิตที่มีความเข้มข้นมาก แต่ในระยะยาวแล้วปริมาณชีวภาพที่ได้จะมีค่าเพิ่มอย่างมากขึ้น

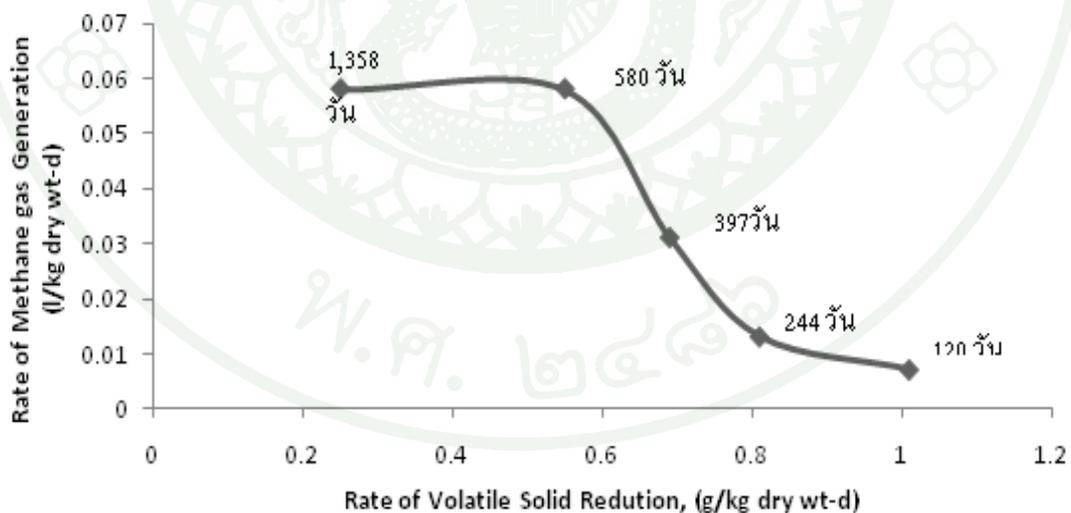
8.2 ความหนาแน่นของการฝังกลบ

ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเกิดก๊าซชีวภาพจากการกระบวนการฝังกลบมูลฝอยที่ได้ผ่านกระบวนการบดอัดมูลฝอยและที่ไม่ได้ทำการบดอัดมูลฝอย พบว่า มูลฝอยที่บดอัดจะถูกย่อยสลายในอัตราที่เร็วกว่าและมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงมากกว่ามูลฝอยที่ไม่มีการบดอัด ทั้งนี้มูลฝอยที่ถูกบดอัดนั้นจะมีการผสมตัวกันขององค์ประกอบต่างๆและสารอาหารได้ดีกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้มีการบดอัด (Dewalle and Chian, 1978) การบดอัดมูลฝอย (Compaction) ด้วยการใส่

เครื่องจักรบดอัดเพื่อให้ได้ปริมาตรที่เล็กลงส่งผลทำให้หลุมฝังกลบมูลฝอยมีอายุการใช้งานมากขึ้น และทำให้ค่าความจุภาคสนามตามที่ต้องการ คำถามอยู่ที่วิธีการแบบใดที่ส่งต่อการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบได้ดีกว่ากันระหว่างวิธีการที่เราควรบดอัดมูลฝอยนับตั้งแต่เริ่มต้นของการฝังกลบหรือควรทำการบดอัดมูลฝอยหลังจากการเกิดก๊าซมีเทนแล้ว

8.3 อายุของการฝังกลบมูลฝอย

ช่วงอายุของมูลฝอยหลังจากทำการฝังกลบแล้วจะเกิดการปลดปล่อยก๊าซออกมาตามแต่ระยะเวลาที่ไม่เท่ากันทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยและฤดูกาลในการทำการฝังกลบ โดยจากการศึกษาของ Ullas *et al.*, (2003) ที่ทำการศึกษาลักษณะการปลดปล่อยของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน Shan-Chu-Ku ที่ได้หวั่น โดยมีค่าอายุเฉลี่ยระหว่าง 1 - 2 ปี , 2 - 3 ปี และอายุ 5 ปี พบว่าอัตราการเฉลี่ยก๊าซมีเทนอยู่ที่ 13.17, 65.27 และ 0.99 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบจะอยู่ที่ 93.70, 314.60 และ 48.46 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ โดยสังเกตได้ว่าหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชนที่มีอายุประมาณ 2 - 3 ปี นั้นจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซต่อพื้นที่ได้ทำการทดลองมากที่สุด



ภาพที่ 11 อัตราการเกิดก๊าซและอัตราการลดลงของแข็งที่เผาไหม้ได้ของมูลฝอย

ที่มา: Karnchanawong *et al.* (1995)

สอดคล้องกับรายงานของ Karnchanawong *et al.*, (1995) และ สมใจ กาญจนวงศ์ (2539) ที่การศึกษาการย่อยสลายหลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูฝน สภาพการย่อยสลายจะเข้าสู่ช่วง Methanogen ในระยะเวลาเพียง 150 - 200 วันเท่านั้น ซึ่งค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าแปรผันตรงกับการลดลงของสารอินทรีย์และระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย พบว่าในช่วงอายุของการฝังกลบที่ 120, 244, 397, 580 และ 1,358 วัน มวลของแข็งที่เผาไหม้ได้มีค่าลดลงจากที่เริ่มต้นร้อยละ 29.5, 41.1, 42.6 และ 50.9 ตามลำดับ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะมีค่าเท่า 0.007, 0.013, 0.031, 0.058 และ 0.058 ลิตรต่อกิโลกรัมของมวลของแข็งที่เผาไหม้ได้ที่หายไปต่อวัน ตามลำดับ จากการศึกษาทำให้ทราบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะมีค่าสูงสุดในช่วงปีที่ 2 ของอายุการฝังกลบ โดยในช่วง 8 เดือนแรกของอายุการฝังกลบอัตราการเกิดมีเทนจะค่อยๆเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปอย่างช้าๆ หลังจากนั้นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอายุการฝังกลบ 2 ปี

8.4 การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล

Borjesson and Svensson (1997) พบว่าลักษณะการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนมีลักษณะเป็นไปตามฤดูกาล การแพร่กระจายก๊าซจะมีมากในระหว่างเดือนสิงหาคม - พฤษภาคม และในช่วงฤดูร้อนจะมีอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนต่ำ Christophersen *et al.*, (2001) รายงานว่าการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบในช่วงฤดูร้อน (เมษายน - ตุลาคม) ซึ่งมีค่าผกผันกับอัตราการระบายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของดินมีความเหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายของก๊าซมีเทน

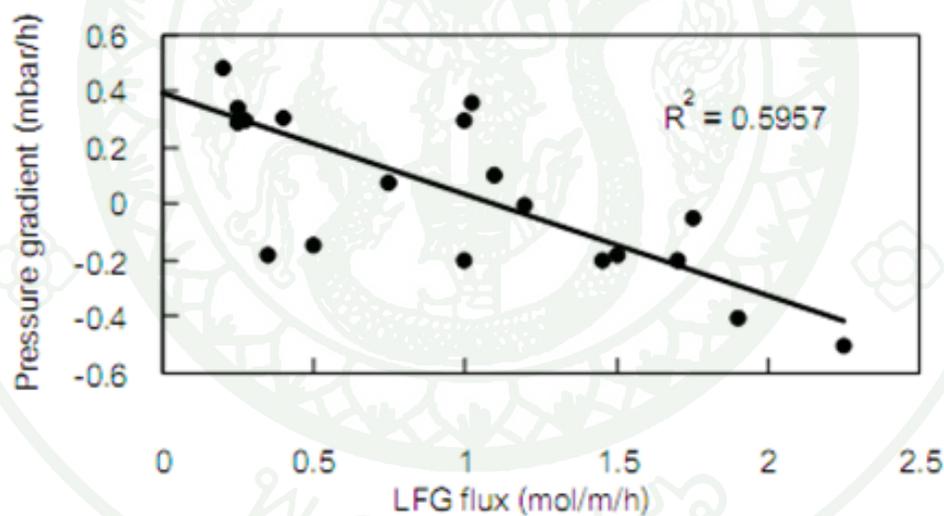
แตกต่างกับรายงานของ Park and Shin (2001) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายก๊าซกับการเปลี่ยนแปลงทางฤดูกาล ณ หลุมฝังกลบ Sudokwon ประเทศเกาหลีใต้ ด้วยวิธีการ Flux Chamber พบว่าอัตราการแพร่กระจายก๊าซออกจากหลุมฝังกลบนั้นมีค่าลดลงจาก ฤดูร้อนไปจนถึงฤดูหนาว และทำการคำนวณอัตราการปลดปล่อยก๊าซออกจากหลุมฝังกลบใน ฤดูหนาว ฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.1584, 0.3013 และ 0.85979 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ส่วนการวิจัยภายในประเทศ ของ พิมลรัตน์ (2544) ได้ทำการศึกษาหลุมฝังกลบมูลฝอยที่เทศบาลนครนครปฐม ด้วยวิธีการประเมินการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นดินกลบทับมูลฝอย ทำให้ทราบว่าอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่หลุมฝังกลบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยในฤดูร้อนมีอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 35.37 และ 31.68 กรัมต่อ

ตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ รองลงมาคือ ถูคนวามีค่าเท่ากับ 1.00 และ 0.79 กรัมต่อตารางเมตร ต่อวัน ตามลำดับ และถูคนมีค่าเท่ากับ 0.0083 และ 0.0104 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ สุรัตน์ (2546) ที่ทำการศึกษานบนพื้นที่ฝึกลบมูลฝอยเทศบาลนครนครปฐม ด้วยวิธี Close Flux Chamber ได้ผลว่าก๊าซมีเทนมีอัตราการแพร่ระบายสูงสุดในถูคนมีค่า 23.47 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยถูคนร้อนมีการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.87 กรัมต่อ ตารางเมตรต่อวัน

8.5. แรงกระทำภายนอก

การเปลี่ยนแปลงของความดันบรรยากาศ Christophersen *et al.*, (2001) อัตราการแพร่ ระบายก๊าซชีวภาพลดลงเมื่อในอากาศมีค่าความดันมากขึ้น ทั้งนี้ เป็นผลจากการที่ค่าความดัน ระหว่างความดันในหลุมฝึกลบกับความดันอากาศมีค่าลดลงดังภาพที่ 11 แสดงถึงความสัมพันธ์ ของอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนกับระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

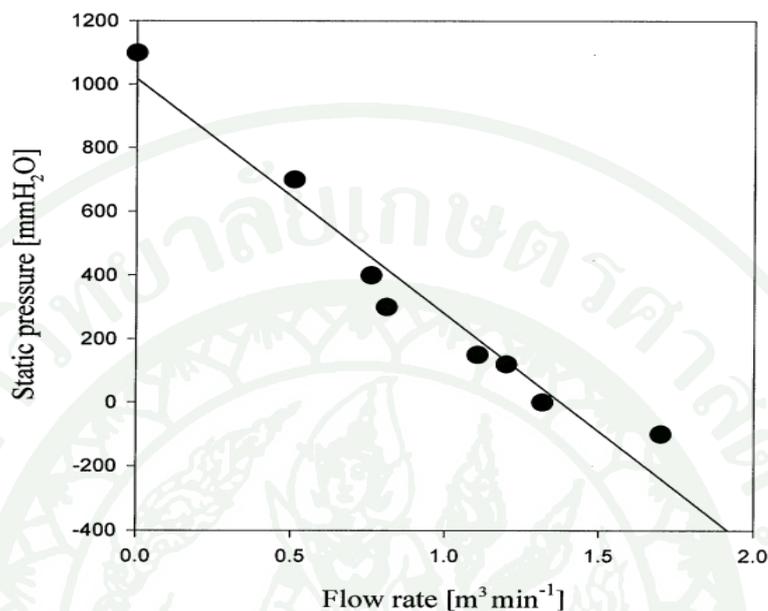


ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนกับระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

ที่มา: Christophersen *et al.* (2001)

จากการทดลองของ Park and Shin (2001) ที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องสูบอากาศที่ท่อก๊าซ พบว่าหลุมฝึกลบมูลฝอยมีค่าแรงดันระดับน้ำได้คืน 1,100 mm. H₂O แต่เมื่อเราทำการดูดอากาศ เพื่อปรับปริมาตรความดันจนลดต่ำลงถึง -100 mm. H₂O ก็พบว่าอัตราการไหลของก๊าซสูงสุดอยู่ที่ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่ออนาที ดังภาพที่ 12 จากการปลดปล่อยก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝึกลบด้วยการ

ใช้เครื่องสูบน้ำนั้นพบว่า อัตราของการแพร่ระบายก๊าซออกจากชั้นดินกลบทับมีค่าลดลงจากเดิมมากกว่าถึงร้อยละ 80



ภาพที่ 13 การใช้ค่าแรงดันดึงก๊าซกับการปลดปล่อยก๊าซออกจากหลุมฝังกลบ

ที่มา: Park and Shin (2001)

8.6. การเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน

อัตราการแพร่ระบายก๊าซในตอนกลางคืนนั้นมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าตอนกลางวันเนื่องมาจากความเข้มข้นของแสงอาทิตย์เป็นตัวประกอบ Borjesson and Stvensson (1997) พบว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างวันมีความสัมพันธ์กับการแพร่ระบายของก๊าซมีเทน พบว่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนในช่วงเวลากลางวันและตอนกลางคืนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ระยะเวลา 13.00 น. และ ระยะเวลา 21.00 น. มีค่าอัตราการแพร่ระบายมีเทนอยู่ที่ 82.56 และ 163.2 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะในช่วงระหว่างวันมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าความดันบรรยากาศ ส่วนรายงานของ Ullas Hegde *et al.*, 2003 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มของแสงแดดมีผลทำให้อัตราการแพร่ระบายมีเทนในช่วงเวลากลางคืนนั้นจะมีค่ามากกว่าตอนกลางวัน ทั้งนี้เป็นผลของกระบวนการออกซิเดชัน (Methane Oxidation) ที่เกิดจากการที่แสงแดดทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

9. การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบฝอย

วิธีการอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพสามารถวัดได้หลากหลายวิธี เช่น Flux Chamber Method และ Micrometeorological Method แต่วิธีที่นิยมใช้ในการวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีการ Flux Chamber สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี (Hettiaratchi, 1996) คือ

9.1 Open Flux Chamber หรือ Dynamic Chamber เป็นวิธีการวัดอัตราการแพร่ระบายของก๊าซ โดยที่อากาศที่อยู่ภายนอก Chamber สามารถที่จะไหลเข้าและออกภายใน Chamber ได้และทำการวัดความเข้มข้นและอัตราการไหลของก๊าซที่ไหลเข้าและออก การวัดอัตราการแพร่ระบายของก๊าซนี้ สภาพอากาศมีอิทธิพลในการวัดความเข้มข้นของก๊าซ เพราะฉะนั้นการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำมาวิเคราะห์จะต้องมีวิธีการและมีเครื่องมือเฉพาะ และการวัดต้องอาศัยเครื่องมือที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

ข้อดี

- สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง
- สามารถปรับสภาพภายใน Chamber ให้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อม

ภายนอกได้

- เหมาะสมสำหรับการศึกษาวิจัยระยะยาว

ข้อเสีย

- มีความไวต่อความดันที่เปลี่ยนแปลงไปใน Chamber เนื่องมาจากก๊าซภายนอกที่เข้ามาทำให้ค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าความจริง แก้ไขโดยการเพิ่มขนาดของทางที่เข้าให้มีขนาดใหญ่กว่าทางที่ออก

- อุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการสูง
- ต้องอาศัยข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ เช่น ประสิทธิภาพในการผสม อัตราการไหล

ของก๊าซขณะเก็บตัวอย่าง

- การวัดก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N) หรือ ออกซิเจน (O) จะเป็นไปได้ยาก

9.2. Close Flux Chamber หรือ Static Chamber เป็นการวัดอัตราการแพร่ระบายนอกจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซที่แพร่ระบายออกจากหลุมฝังกลบ โดยก๊าซที่อยู่ภายนอก Chamber ไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาได้ ลักษณะ Chamber ต้องทำมาจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซ โดยส่วนใหญ่ทำด้วย Teflon หรือ Stainless เพื่อรวบรวมก๊าซและความเข้มข้นของก๊าซที่สะสมใน Chamber จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เวลาเก็บตัวอย่างเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลา

ข้อดี

- สามารถวัดก๊าซได้ในกรณีที่ก๊าซมีปริมาณน้อย
- ไม่ต้องใช้พลังงานในการปฏิบัติการ
- สะดวกในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า
- ก๊าซที่อยู่ใน Chamber จะไม่ถูกรบกวนจากก๊าซภายนอก
- ก๊าซที่สะสมอยู่ Chamber จะเกิดการผสมกันอย่างทั่วถึง
- สามารถตรวจวัดในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก

ข้อเสีย

- เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันในดินเนื่องจากการฝัง Chamber ลงไปในดิน
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในดินและภายใน Chamber จะมีผลต่อการทดลอง
- อาจเกิดการปนเปื้อนหรือผสมของก๊าซตรงระหว่างรอยต่อ Chamber กับชั้นดิน

หากไม่มีการอุดรอยต่อระหว่างดินกับ Chamber ให้ดี

- การที่ก๊าซถูกเก็บสะสมไว้ใน Chamber ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเพิ่มมากขึ้นทำให้เวลาวัดความเข้มข้นของก๊าซอาจมีความคลาดเคลื่อนได้

อัตราการแพร่ระบายของก๊าซออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยสามารถหาได้โดยการนำ Chamber ฝังผาครอบไว้ตรงบริเวณที่ได้ทำการศึกษา ก๊าซที่ระบายออกมาจะสะสมอยู่ภายใน Chamber แล้วเก็บตัวอย่างก๊าซ ณ เวลาต่างๆตามที่เราได้กำหนดและนำก๊าซตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้น แล้วทำการคำนวณเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของเวลากับค่าความเข้มข้นที่เกิดขึ้น ดังสมการที่ 1 จากนั้นนำมาหาค่าอัตราการระบายของก๊าซสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Hettiaratchi and Hansen, 1996)

$$F = \frac{\rho V \Delta C}{A \Delta t} \quad (1)$$

โดยที่ F = อัตราของก๊าซที่ระบายออกมาต่อพื้นที่, $g/m^2/s$
 ρ = ค่าความหนาแน่นของก๊าซ, kg/m^3
 V = ปริมาตรของ Chamber, m^3
 A = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber, m^2
 ΔC = ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง, %
 T = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ, s

ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการวัด โดยใช้ Close Flux Chamber สามารถแก้ไขได้ โดยการทำที่บังแดดให้กับ Chamber ส่วน Borjesson and Svensson (1997) พบว่า อุณหภูมิใน Chamber เพิ่มขึ้น $1\text{ }^{\circ}C$ ในวิธีการดังกล่าว

Matthias *et al.*, (1980) ได้ทดลองความแตกต่างขององค์ประกอบก๊าซระหว่าง Chamber ที่มีการติดตั้งพัดลมผสมอากาศและ Chamber ที่ไม่มีการติดตั้งพัดลม เมื่อนำก๊าซมา วิเคราะห์ผลพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน

Maurice and Lagerkvist (1998) ได้พยายามแก้ไขปัญหาเรื่องรอยต่อระหว่าง Chamber กับหน้าดินที่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยเสนอแนวทางของการเพื่อลด ปัญหาดังกล่าวไว้ว่า ควรเลือกชนิด Chamber ที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่และเส้นรอบวงสูง Chamber วงกลมให้อัตราส่วนดีที่สุดเมื่อเทียบกับทรงสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม

จากการทดลองของ Bogner and Scott (1995) ที่ทำการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่ระบาย ออกมาจากหลุมฝังกลบด้วยวิธี Close Flux Chamber พบว่ามีค่าระหว่าง ช่วง $0.003 - 3,000\text{ }gm^{-2}d^{-1}$

10. การเคลื่อนที่ของก๊าซจากหลุมฝังกลบในแนวตั้ง (Vertical Gas Migration)

10.1. การเคลื่อนที่ก๊าซในแนวตั้ง (Vertical Gas Migration)

โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพที่เกิดในดินจะระบายขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศได้ด้วย วิธีการแพร่ระบายของความเข้มข้นต่างกัน ในกรณีของหลุมฝังกลบที่ยังดำเนินการ ความดันภายใน หลุมฝังกลบมากกว่า ความดันบรรยากาศ ดังนั้นก๊าซจากหลุมฝังกลบจะปลดปล่อยออกมาด้วยการ พา (Convection) และ โดยการแพร่ (Diffusion) สมการที่ใช้หาค่าการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของก๊าซ

จากหลุมฝังกลบขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่นการดูดซับของของเหลวหรือองค์ประกอบของของแข็ง การเกิดหรือการใช้ไปขององค์ประกอบก๊าซในช่วงระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือเกิดในระหว่างกิจกรรมการทำงานทางชีวภาพ รูปสมการอย่างง่ายที่ไม่ซับซ้อนของการประมาณภายใต้สภาวะคงที่ (Tchobanoglous *et al.*, 1993) ดังสมการที่ 2

$$0 = \frac{-V_z dc_a}{dz} + \frac{-D_z d^2 C_a}{dz^2} \quad (2)$$

- V_z = ความเร็วในการพาในทิศทางแนวดิ่ง, cm/s
 C_A = ความเข้มข้นของสารประกอบ A, g/cm³
 D_z = สัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพการแพร่ระบายของก๊าซ, cm²/s
 Z = ความลึก, cm

ถ้าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระยะเวลาใดๆ จะมีเพียงเทอมของการแพร่เท่านั้นและอินทิเกรตสมการที่ 3 จะได้ว่า

$$N_A = \frac{-D_z dC_A}{dz} \quad (3)$$

- N_A = อัตราการแพร่ระบาย (gas flux), g/cm²/s

ถ้ากำหนดสัมประสิทธิ์ของการแพร่ระบาย (D) จะทำหน้าที่เป็นทั้งการแพร่โมเลกุล และความพรุนของดิน (Porosity of soil) จะได้สมการที่ 4 ในรูปอย่างง่ายของไอน้ำแพร่ผ่านชั้นดินว่า

$$D_z = \frac{D_z(\alpha_{gas})^{10/3}}{dz} \quad (4)$$

- D_z = สัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพการแพร่ระบายของก๊าซ, cm²/s
 D = สัมประสิทธิ์การแพร่การแพร่ระบาย, cm²/s
 α_{gas} = ความพรุนของดิน, cm³/cm³
 α = ความพรุนทั้งหมดของดิน, cm³/cm³

$$N_A = \frac{-D\alpha_{\text{gas}}^{10/3} (C_{\text{atm}} - C_{\text{fill}})}{\alpha^2 L} \quad (5)$$

สมการที่ใช้หาอัตราการแพร่ระบายนของก๊าซในแนวตั้งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} N_A &= \text{อัตราการแพร่ระบายนก๊าซ (gas flux), g/cm}^2/\text{s} \\ D &= \text{สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซ, cm}^2/\text{s} \\ C_{\text{atm}} &= \text{ความเข้มข้นของก๊าซที่ผิวชั้นบนของหลุมฝังกลบมูลฝอย, g/cm}^3 \\ C_{\text{fill}} &= \text{ความเข้มข้นของก๊าซที่ผิวชั้นล่างของหลุมฝังกลบมูลฝอย, g/cm}^3 \\ \alpha_{\text{gas}} &= \text{ความพรุนของดิน, cm}^3/\text{cm}^3 \\ \alpha &= \text{ความพรุนทั้งหมดของดิน, cm}^3/\text{cm}^3 \\ L &= \text{ความลึกของดินกลบทับมูลฝอย, cm} \end{aligned}$$

โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ก๊าซมีเทนและคาร์บอน ไดออกไซด์เท่ากับ 0.2 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที และ 0.13 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ถ้าสมมติให้ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นเส้นตรง และดินอยู่ในสภาพที่แห้ง ดังนั้นค่า $\alpha_{\text{gas}}^{10/3} = \alpha^2 L$ และสภาพที่ดินแห้งนั้นจะเป็นปัจจัยควบคุม ในการแทรกซึมของน้ำที่เข้าไปในดินกลบทับ ซึ่งจะลดปริมาณก๊าซที่อยู่ในรูพรุน และลดจำนวนของไอน้ำต่อพื้นที่ต่อเวลา จากหลุมฝังกลบ

$$N_A = \frac{-D\alpha^{4/3} (C_{\text{atm}} - C_{\text{fill}})}{L} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} N_A &= \text{อัตราการแพร่ระบายนก๊าซ (gas flux), g/cm}^2/\text{s} \\ D &= \text{สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซ, cm}^2/\text{s} \\ C_{\text{atm}} &= \text{ความเข้มข้นของก๊าซที่ผิวชั้นบนของหลุมฝังกลบมูลฝอย, g/cm}^3 \\ C_{\text{fill}} &= \text{ความเข้มข้นของก๊าซที่ผิวชั้นล่างของหลุมฝังกลบมูลฝอย, g/cm}^3 \\ \alpha &= \text{ความพรุนทั้งหมดของดิน, cm}^3/\text{cm}^3 \\ L &= \text{ความลึกของดินกลบทับมูลฝอย, cm} \end{aligned}$$

10.2. การเคลื่อนย้ายก๊าซทางด้านข้าง

สำหรับหลุมฝังกลบที่ไม่มีการทำทางระบายของก๊าซชีวภาพไว้ การเคลื่อนไหวในแนวด้านข้างจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของวัสดุกลบทับมูลฝอย และลักษณะของดินในบริเวณนั้น โดยทั่วไปความถ่วงจำเพาะของมีเทนจะมีค่าน้อยกว่าความถ่วงจำเพาะของอากาศ มีผลทำให้การระบายก๊าซมีเทนไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งมันสามารถสะสมอยู่ในช่องว่างใกล้ๆ ได้ จึงทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการระบายก๊าซมีเทนในทางตรงกันข้ามความหนาแน่นของอากาศ และเป็น 2.8 เท่าของความหนาแน่นของก๊าซมีเทน ดังนั้นก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์สามารถจึงมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง หลังจากมีการสะสมและกลบทับมูลฝอยแล้ว การปนเปื้อนของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ในน้ำสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีใช้ดินคาค (ถ้าใช้ Geomembrane Liner เป็นวัสดุคาคแล้วจะทำให้การเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์สามารถควบคุมได้) ปัญหาเรื่องนี้ก็นำไปสู่การเพิ่มความกระด้างให้กับน้ำใต้ดิน การเพิ่มปริมาณแร่ธาตุ และการเพิ่มของค่า pH ในน้ำชะมูลฝอย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์การแพร่ระบายนและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

1.1. Close Flux Chamber ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนแรก คือ Chamber ทำมาจาก Stainless Steel เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เมตร สูง 0.25 เมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ด้านบนปิดด้วยแผ่นอะครีลิกที่มีความหนา 19 มิลลิเมตร และมีช่องสำหรับเก็บก๊าซ 1 ช่อง อยู่ตรงกลางและมีอีก 1 ช่องสำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์ ส่วนฐานทำจาก Stainless Steel สูง 0.10 เมตร ด้านขอบบนทำร่องตามแนวขอบนอกของเส้นรอบวง เพื่อวาง Chamber ปิดล้อมพื้นที่ 0.188 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 13

1.2. เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิในช่วง 0 - 100 องศาเซลเซียส

1.3. จุกยาง (Silicone)

1.4. หลอดพลาสติกเก็บก๊าซสูญญากาศปริมาตร 6.0 มิลลิลิตร

1.5. Three way stopcock ตัวสามทาง

1.6. เข็มฉีดยาปลายตัด 45 องศา เบอร์ 24

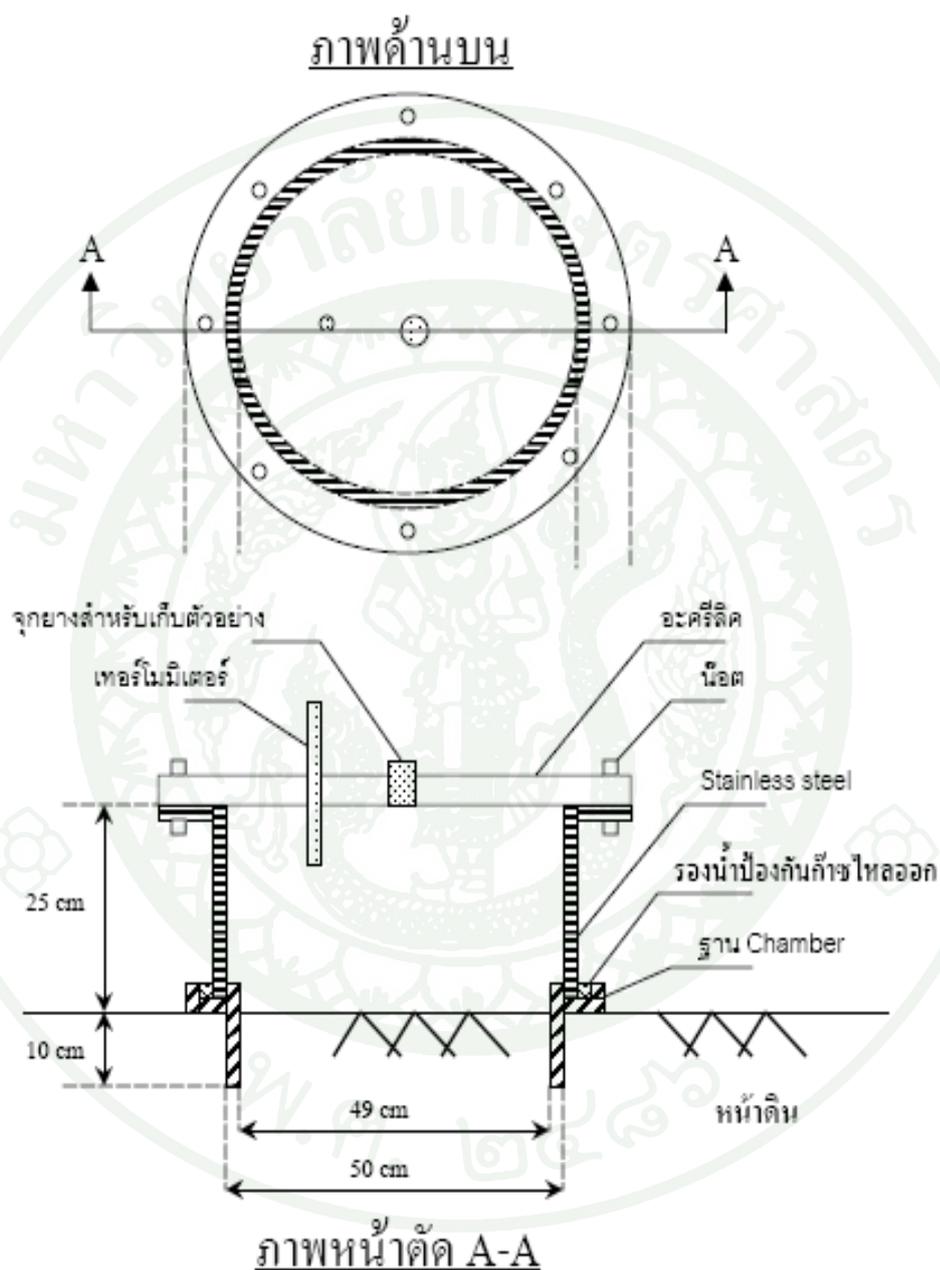
1.7. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว

1.8. เข็มเก็บตัวอย่างก๊าซ(Gas Tight Syringe) ขนาด 1.0 มิลลิลิตร

1.9. เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ของบริษัท Agilent 6890 ใช้ Thermal Conductivity Detector (TCD) ติดตั้ง CTR Colum, Alltech โดยตั้งอุณหภูมิของ injector, Detector และ Colum ที่อุณหภูมิ 120, 160 และ 120 องศาเซลเซียสตามลำดับ กำหนดอัตราการไหลของก๊าซ He เท่ากับ 65 มิลลิลิตร

1.10. เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ของบริษัท Shimadzu รุ่น GC-14B ใช้ Flame Ionization Detector (FID) ติดตั้งคอลัมน์ Stainless Steel ยาว 3 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางในและนอก เท่ากับ 3 และ 4 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วย Unibeads A(80/100) โดยตั้งอุณหภูมิของ Injector,

Detector และ Colum เท่ากับ 105, 40 และ 150 องศาเซลเซียสตาม ลำดับ และอัตราการไหลของก๊าซ N_2 เท่ากับ 30 มิลลิลิตรต่อนาที



ภาพที่ 14 จำลอง Close Flux Chamber

2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์มูลฝอย

- 2.1. ภาชนะพลาสติกเก็บตัวอย่างดินทรงกระบอก
- 2.2. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)
- 2.3. ตู้อบ (Drying Oven) 103 – 105 องศาเซลเซียส
- 2.4. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
- 2.5. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 2.6. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 2 ตำแหน่ง
- 2.7. ชุด close reflux สำหรับวิเคราะห์ COD
- 2.8. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจน (Kjedahl) เครื่องย่อย (Digester) และเครื่องกลั่น (Distillator)
- 2.9. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- 2.10. เครื่องวัดแสง (Spectrophotometer)

วิธีการ

1. การวิเคราะห์หาสมบัติลักษณะและองค์ประกอบของมูลฝอย

ทำการสุ่มมูลฝอยสดที่เป็นตัวอย่างเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบเดือนละ 1 ครั้ง โดยมูลฝอยที่ทำการสุ่มตัวอย่างจะเป็นตัวแทนของค่าองค์ประกอบและลักษณะสมบัติของมูลฝอยที่เข้ามาในหลุมฝังกลบของเดือนนั้น การคัดเลือกโดยการสุ่มตัวอย่างจากมูลฝอยหลังจากที่ได้ผ่านการคัดแยกมูลฝอยจากคนคัดแยกและต้องอยู่ในช่วงที่บดอัดมูลฝอยเพื่อ รอกการฝังกลบมูลฝอยประมาณ 200 กิโลกรัม แล้วทำการแยกองค์ประกอบของมูลฝอยที่ได้ จากนั้นนำมูลฝอยที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาคลุกเคล้าให้เข้ากันเพื่อทำการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธี แบ่งออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) แล้วนำฝั่ตรงข้ามมาคลุกเคล้าผสมกัน ส่วนที่เหลือให้แยกออกกลับไปทิ้ง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนเหลือขยะมูลฝอยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีดังต่อไปนี้

1.1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพ มีดัชนีการวิเคราะห์ เช่น ค่าความหนาแน่น ค่าความจุภาคสนาม ค่าความชื้น

1.2. ลักษณะสมบัติทางเคมี มีดัชนีวิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ ปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่เผาไหม้ไม่ได้โดยคัดแยกพลาสติกออก ธาตุองค์ประกอบขยะมูลฝอย คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (C) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S)

2. การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดิน

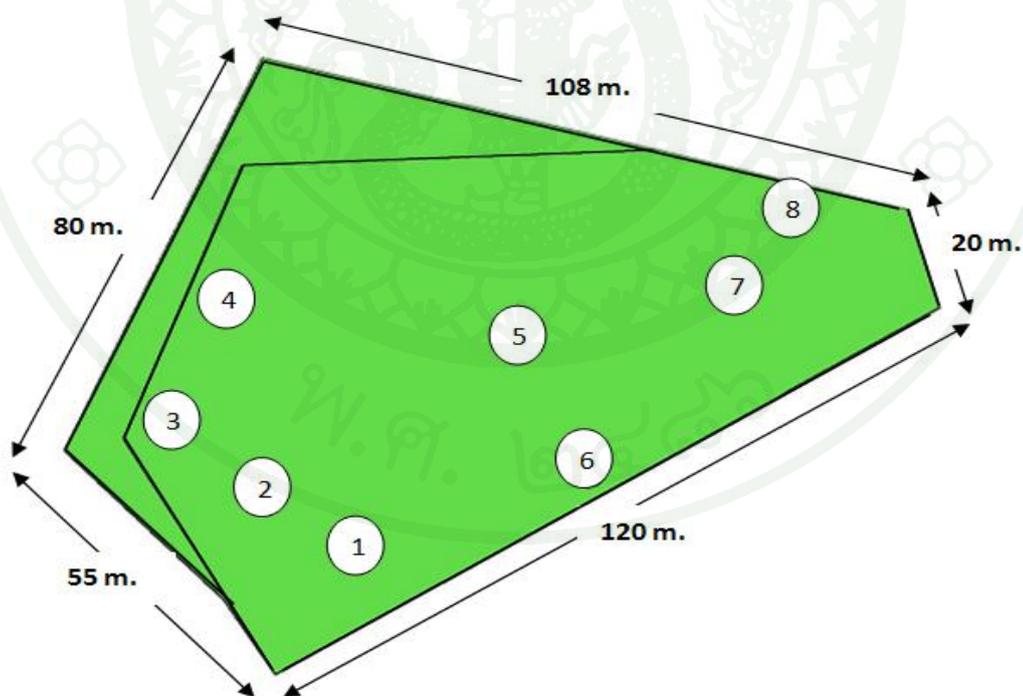
การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดิน โดยทำการการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตรจากผิวดินฝังกลบ และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์ในห้องปฏิบัติการ ทำการวิเคราะห์

2.1 ความชื้น (Moisture Content) วิธีการชั่งภาชนะที่อบ นำ ตัวอย่างดินที่อบใช้หาความชื้นควรมีอย่างน้อย 30 กรัมขึ้นไป โดยชั่งน้ำหนักที่มีความชื้นพร้อมกับภาชนะอบ แล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105-110 °C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเข้าสู่ตู้ดูดความชื้น (Desiccators) เพื่อรอให้เย็น แล้วจึงนำมาชั่งที่เครื่องชั่งทศนิยม 4 จุดหาน้ำหนักดินแห้งพร้อมภาชนะอบ

2.2. ความหนาแน่นรวมของดิน นำดินที่ทำการสุ่มตัวอย่างแล้วมาตวงวัดด้วยภาชนะตวงวัดโดยใส่ดินให้สูงกว่าภาชนะพอประมาณ แล้วค่อยๆ เคาะภาชนะเบา หากปริมาณของดินที่ได้ตวงลดลงต่ำกว่าขอบภาชนะตวงวัดให้เติมดินเพิ่มลงไปจนถึงขอบภาชนะ นำภาชนะดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่น การศึกษาหาค่าความหนาแน่นหลายๆ ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยหาค่าความหนาแน่นปกติ

3. การวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบ (Gas Emission)

3.1 การศึกษาการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบที่มีอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงมาจากของระยะเวลาในการฝังกลบมูลฝอยที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการฝังกลบเป็นระยะเวลานาน 1 ปี ด้วยวิธี Close Flux Chamber เพื่อหาอัตราการแพร่กระจายก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบจำนวน 8 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 14 โดยจะเก็บตัวอย่างเป็นประจำทุกเดือนในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาดังแต่วันที่ 15 มิถุนายน 2552 จนถึงวันที่ 19 มิถุนายน 2553

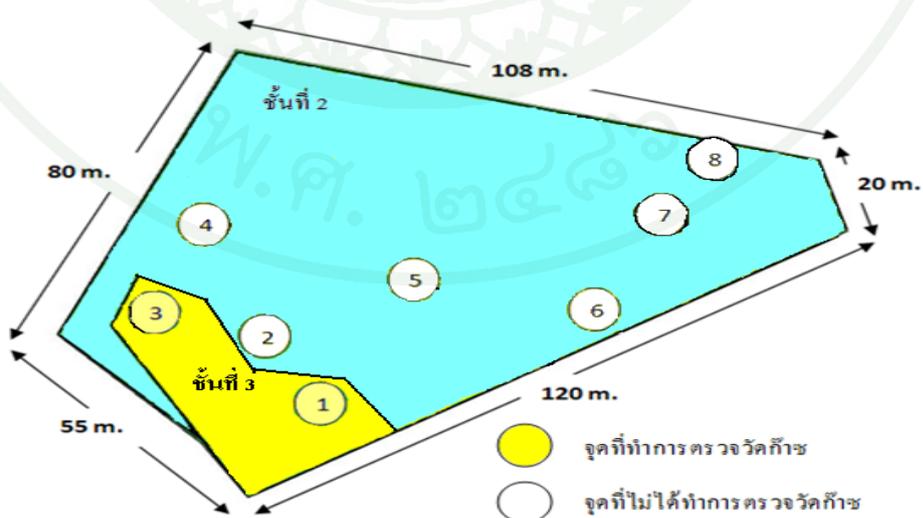


ภาพที่ 15 จุดที่ทำการตรวจวัดก๊าซบนพื้นที่ฝังกลบศูนย์การจัดการมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง



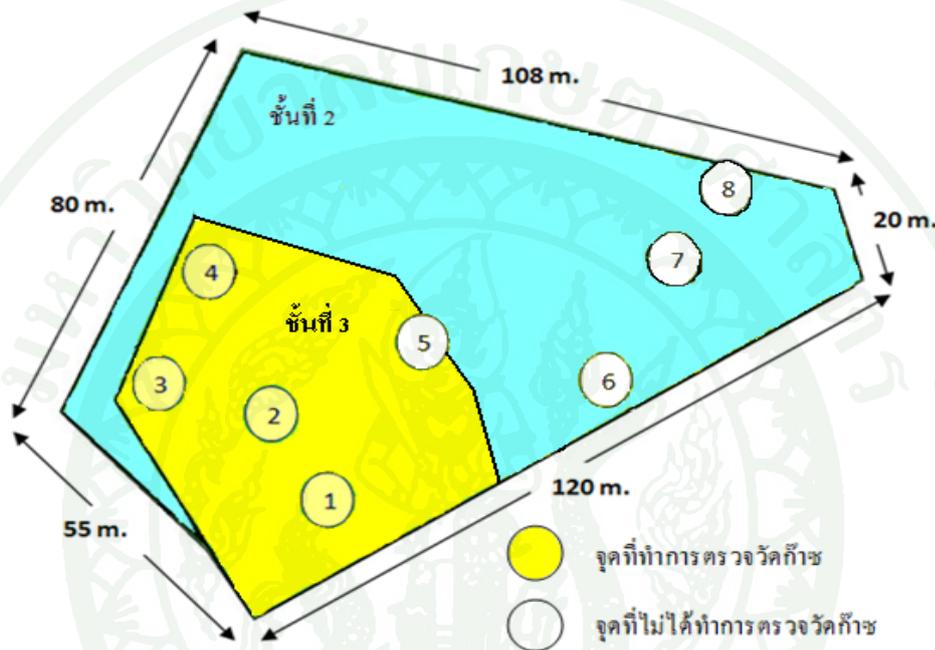
ภาพที่ 16 ตำแหน่งที่ตั้งตามลักษณะภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ทำการศึกษา

ช่วงเดือน สิงหาคม 2552 ซึ่งเป็นเดือนแรกที่ได้มีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยถึงระดับชั้นที่ 3 ซึ่งได้ทำการฝังกลบมูลฝอยมาจนถึงบริเวณจุดตรวจวัดที่ 1 และ 3 หลังจากนั้นจึงเริ่มมีการตรวจวัดการแพร่ระบายก๊าซมีเทนในจุดตรวจวัดที่ 1 และ 3 ทำให้มีการศึกษาการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ ที่บริเวณดังกล่าวเป็นระยะเวลาานาน 11 เดือน



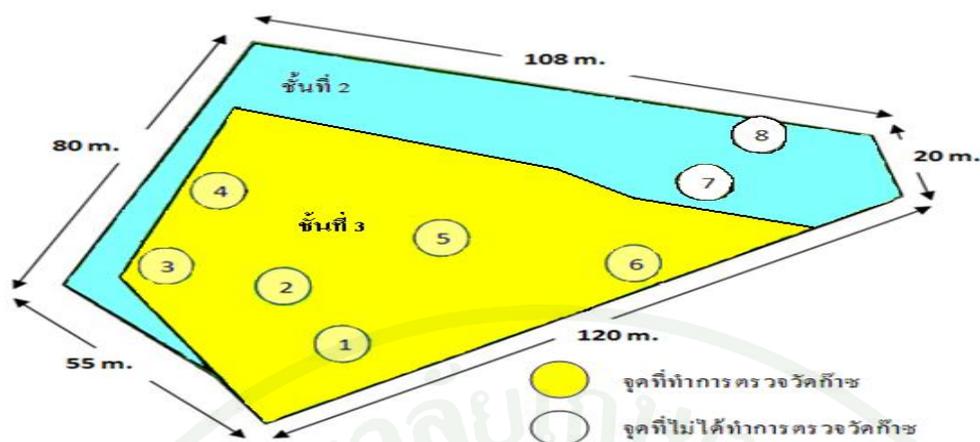
ภาพที่ 17 การดำเนินการฝังกลบมูลฝอย ณ เดือน สิงหาคม 2552

ในช่วงเดือนกันยายน 2552 ซึ่งมีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยบนระดับชั้นที่ 3 ของหลุมฝังกลบมาได้ระยะเวลา 2 เดือน โดยมีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยในระดับชั้นที่ 3 ของหลุมฝังกลบมาจนถึงจุดตรวจวัดที่ 2 และ 4 ดังนั้นจึงได้เริ่มดำเนินการตรวจวัดการแพร่กระจายก๊าซมีเทน ณ จุดตรวจวัดที่ 2 และ 4 ซึ่งทำให้ ณ บริเวณดังกล่าวมีการศึกษาการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝังกลบเป็นระยะเวลา 10 เดือนหลังจากที่ได้ทำการปิดพื้นที่ฝังกลบ



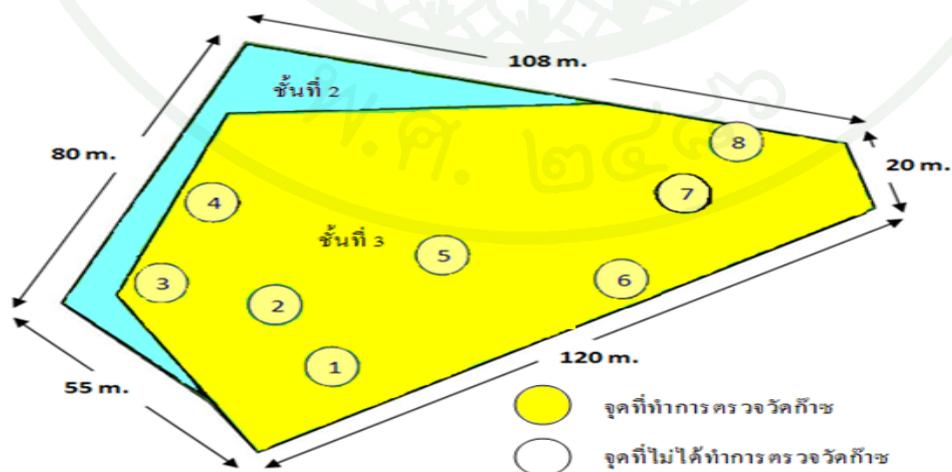
ภาพที่ 18 การดำเนินการฝังกลบมูลฝอย ณ เดือน กันยายน 2552

เดือนตุลาคม 2552 มีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยมาเป็นระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งได้มีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยในระดับชั้นที่ 3 ของหลุมฝังกลบมาจนถึงจุดตรวจวัดที่ 6 หลังจากนั้นจึงได้เริ่มดำเนินการตรวจวัดการแพร่กระจายก๊าซมีเทน ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 6 ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบที่จุดตรวจวัดที่ 6 นานเป็นเวลา 9 เดือน ในช่วงปลายเดือนกันยายนหลังจากที่ได้เก็บข้อมูลการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝังกลบก็ได้มีการฝังกลบมูลฝอยมาถึง ณ จุดตรวจวัดที่ 5 จึงได้ทำการเก็บข้อมูลการศึกษาการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบที่จุดตรวจวัดที่ 5 ที่เดือนตุลาคม 2552 ซึ่งเป็นช่วงที่ระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยมีอายุการฝังกลบได้ 2 เดือน ไปจนถึงช่วงเดือนมิถุนายน 2553 ซึ่งรวมระยะเวลาการศึกษาอัตราการแพร่กระจายที่จุดตรวจวัดที่ 5 เป็นเวลานาน 10 เดือน



ภาพที่ 19 การดำเนินการฝึกลบมูลฝอย ณ เดือน ตุลาคม 2552

การฝึกลบมูลฝอยในระดับชั้นที่ 3 ลึกลงในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2552 จึงได้เริ่มดำเนินการตรวจวัดก๊าซที่จุดตรวจวัดที่ 7 และ 8 ทั้งนี้เป็นมาจากในเดือนตุลาคม 2552 ได้มีการฝึกลบมูลฝอยมาถึงจุดตรวจวัดที่ 7 หลังจากการเก็บข้อมูลการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝึกลบแล้ว ทำให้ที่จุดตรวจวัดก๊าซที่ 7 จะเป็นการเก็บข้อมูลการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝึกลบในช่วงระยะเวลา 2 – 9 เดือนหลังจากการฝึกลบมูลฝอย ส่วนที่จุดตรวจวัดที่ 8 นั้นมีการศึกษาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝึกลบนับตั้งแต่เดือนแรกของการฝึกลบมูลฝอยทำให้มีการเก็บข้อมูลการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝึกลบ ณ จุดตรวจวัดนี้นานเป็นระยะเวลา 8 เดือน



ภาพที่ 20 การดำเนินการฝึกลบมูลฝอย ณ เดือน พฤศจิกายน 2552

ตารางที่ 8 การตรวจวัดการแพร่ ระบายของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบและระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย

จุดตรวจวัด	ระดับชั้น/อายุมูลฝอยของจุดที่ทำการฝังกลบ (เดือน)									
	2552					2553				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	พ.ค.	มิ.ย.
1	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/18	3/19
2	2/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/17	3/18
3	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/16	3/17
4	2/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/15	3/16
5	2/5	-	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/14	3/15
6	2/4	2/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/13	3/14
7	2/3	2/4	-	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/12	3/13
8	2/2	2/3	2/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/11	3/12

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการตรวจวัด

3.2. การวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการวาง Chamber ตามตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง แล้วทำการเก็บตัวอย่างก๊าซด้วยการใช้หลอดพลาสติกสุญญากาศขนาด 6 มิลลิตร โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซในช่วงเวลาระหว่าง 9 - 15 นาที ในแต่ละตำแหน่งจนเก็บตัวอย่างก๊าซได้ 7 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าร้อยละของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยวิธี Gas Chromatography แล้วนำค่าที่ได้มาทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นกับเวลา เพื่อหาอัตราการการแพร่ระบายของก๊าซ โดยค่า R^2 (Regression) ไม่ควรมีค่าน้อยกว่า 0.9 (Sass *et al.*, 1990) (หากไม่สามารถหาได้จะทำการตัดจำนวนตัวอย่าง)

3.3. อุณหภูมิของบรรยากาศและ Chamber เทอร์โมมิเตอร์

4. การวิเคราะห์ห้วงศ์ประกอบของก๊าซชีวภาพใต้ดินทับฝังกลบมูลฝอย

4.1. การศึกษาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ระดับผิวดินกลบทับมูลฝอยชั้นบนสุดของหลุมฝังกลบมูลฝอย ที่เกิดขึ้นภายในช่วงระยะเวลาดำเนินการฝังกลบมูลฝอย โดย

ทำเลือกตำแหน่งที่ตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพออกจากหลุมฝังกลบในจุดที่ 1 - 8 มาทำการวัดค่าองค์ประกอบก๊าซชีวภาพใต้ผิวดินฝังกลบ

4.2. วางท่อพีวีซีขนาด 0.5 นิ้ว ที่ระดับความลึกของกึ่งกลางชั้นดินกลบทับที่ระดับชั้นที่ 3 (ชั้นบนสุดของหลุมฝังกลบมูลฝอย) กึ่งกลางความลึกชั้นบนสุดของชั้นดินกลบทับ (1.0 เมตร) และปล่อยให้ปลายท่อประมาณ 50 เซนติเมตร โผล่ออกมาพื้นผิวดินขึ้นมา การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพจะทำการตัวอย่างด้วยวิธีการ Gas Sampling Analysis โดยใช้เข็มฉีดยาการเก็บตัวอย่างก๊าซจากปากท่อพีวีซีแล้วฉีดเข้าสู่หลอดสูญญากาศ เพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ณ ห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน

5. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการศึกษารื่ององค์ประกอบของมูลฝอย รวมทั้งศึกษาเรื่องขององค์ประกอบของก๊าซใต้ผิวดิน ณ ชั้นบนสุดของหลุมฝังกลบ และทำตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายก๊าซบนพื้นที่หลุมกลบในพื้นที่หลุมฝังกลบของศูนย์การจัดการมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังขนาดพื้นที่ 12 ไร่ 3 งาน 23 ตารางวา หรือประมาณ 20,942 ตารางเมตร ส่วนตัวอย่างของมูลฝอย และก๊าซชีวภาพจะนำมาทำการวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6. ระยะเวลาในการทำการศึกษาวิจัย

เริ่มทำการศึกษาดังแต่ เมษายน 2552 จนถึง มิถุนายน 2553 รวมระยะเวลา 15 เดือน

ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบ

การศึกษาองค์ประกอบและลักษณะสมบัติของมูลฝอยสดที่เข้าสู่พื้นที่ฝังกลบของเทศบาลนครแหลมฉบัง ในแต่ละเดือนนับตั้งแต่ที่ได้เริ่มมีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอยในพื้นที่ที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง เดือน ธันวาคม 2552 - พฤศจิกายน 2553 รวมระยะเวลา 12 เดือน เพื่อที่จะได้ทราบลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของมูลฝอยที่เข้ามาในพื้นที่หลุมฝังกลบ ตัวอย่างของมูลฝอยที่ทำการศึกษา นั้นจะต้องผ่านขั้นตอนของการบดอัดและรอกการดำเนินการฝังกลบมูลฝอย และจากผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างมูลฝอยดังแสดงในตารางที่ 9 - 11

1.1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลฝอยสดที่เข้ามาในแต่ละเดือนดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่าองค์ประกอบของมูลฝอยสดส่วนมากจะเป็นมูลฝอยประเภทพลาสติกมีปริมาณร้อยละ 25.90 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ช่วงระหว่างร้อยละ 14.41 - 44.58 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก เศษอาหารเป็นองค์ประกอบของมูลฝอยที่มีมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 ซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 25.35 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ส่วนที่พบรองลงมาได้แก่ กระดาษ เศษผ้าและใบไม้เศษไม้ มีเฉลี่ยที่ร้อยละ 16.28, 12.18 และ 10.32 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะสมบัติที่คล้ายคลึงกับรายงานของวิจารณ์ (2543) ที่ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยสดของเทศบาลนครนนทบุรี ซึ่งค่าองค์ประกอบที่พบอยู่มากในมูลฝอย ได้แก่ พลาสติก เศษใบไม้และเศษไม้ เศษอาหาร โดยมีค่าขององค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 24.05, 20.32 และ 16.80 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ แต่จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2547) ค่าองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนในเขตเทศบาลที่พบส่วนมากจะเป็นเศษอาหาร (รวมทั้งเศษไม้และใบไม้) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 57.86 ของน้ำหนักมูลฝอยเปียก ทั้งนี้สาเหตุที่องค์ประกอบของมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังมีค่าของเศษอาหารมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย อาจเป็นเพราะว่าเนื่องจากเทศบาลนครแหลมฉบังเป็นเทศบาลประเภท

เมืองอุตสาหกรรมและท่าเรือ ทำให้วิถีชีวิตของประชาชนในเมืองนี้นิยมซื้อกับข้าวมาบริโภคเป็นหลัก สืบเนื่องจากการที่ค่าองค์ประกอบพลาสติกของเทศบาลนครแหลมฉบังมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 25.90 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยพลาสติกที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 18.61 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ค่าความจุภาคสนาม เป็นค่าที่บ่งบอกถึงขีดความสามารถของการดูดซับน้ำของมูลฝอยผลจากการศึกษาทำให้ทราบว่าฤดูกาล เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลกับค่าความจุภาคสนาม โดยที่ในช่วงระหว่างเดือน มีนาคม – พฤษภาคม 2552 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนค่าความจุภาคสนามจะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ร้อยละ 59.28 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก และในช่วงเดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นช่วงของฤดูฝนค่าความจุภาคสนามจะมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 28.31 ของน้ำหนักมูลฝอยเปียก ขณะที่ในช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือน ธันวาคม 2551 – กุมภาพันธ์ 2552 จะมีค่าความจุภาคสนามเฉลี่ยที่ 52.83 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก

ความหนาแน่นของมูลฝอยสดที่เข้ามาเทศบาลนครแหลมฉบังในระหว่างช่วงเดือน ธันวาคม 2551 – พฤศจิกายน 2552 พบว่าค่าความหนาแน่นของมูลฝอยสดของเทศบาลนครแหลมฉบังมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 214.97 – 447.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 307.99 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากการวิเคราะห์มูลฝอยสดเทศบาลนครแหลมฉบังพบว่ามีค่าความแปรปรวนระหว่างเดือนมีค่าเท่ากับ 60.08

1.2. ลักษณะสมบัติทางเคมี

ปริมาณความชื้น นั้นพบว่าลักษณะค่าความชื้นของมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังคิดค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 70.55 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ดังแสดงผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 10 ซึ่งค่าของความชื้นส่วนใหญ่มาจากมูลฝอยประเภทเศษอาหาร ใบไม้และเศษไม้ ซึ่งเป็นมูลฝอยสารอินทรีย์ เมื่อมูลฝอยประเภทดังกล่าวถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำการจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ น้ำและสารละลายอินทรีย์รูปแบบอื่นๆที่อยู่ในสถานะของเหลว ทั้งนี้

ค่าของความหนาแน่นของการบดอัดและลักษณะองค์ประกอบของมูลฝอยเป็นปัจจัยที่เข้ามามีอิทธิพลต่อค่าความชื้นมูลฝอย

ปริมาณของแฉ่งรวม การวิเคราะห์ของแฉ่งรวมในตัวอย่างมูลฝอยสดดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 29.44 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ซึ่งค่ามูลฝอยที่ทำการวิเคราะห์จะอยู่ที่อยู่ในค่าช่วงระหว่างร้อยละ 11.06 – 46.27 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษารุ่นนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับปริมาณของแฉ่งรวมของมูลฝอยเทศบาลทั่วประเทศที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 21.16 - 56.75 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ปริมาณของสารที่เผาไหม้ได้ เป็นตัวแทนปริมาณสารอินทรีย์ของมูลฝอย หากมูลฝอยมีปริมาณที่เผาไหม้ได้มากแสดงก็ว่ามูลฝอยมีอัตราส่วนของสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณที่มาก การศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2544) และแสดงให้เห็นถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดก๊าซมีเทนกับการลดลงของสารอินทรีย์และอายุของการฝังกลบ โดยในช่วงสองปีแรกของการฝังกลบปริมาณของสารอินทรีย์ที่เผาไหม้ได้จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วประมาณร้อยละ 42.6 ของมวลสารที่เผาไหม้ได้เริ่มต้น สารที่เผาไหม้ได้ในมูลฝอยสดมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 20.29 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ซึ่งค่าของสารที่เผาไหม้ได้จะมีค่าอยู่ที่ช่วงระหว่างร้อยละ 5.87 – 30.64 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ทั้งนี้จากการศึกษายังพบว่าในช่วงระหว่างเดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2552 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนค่าของแฉ่งที่เผาไหม้ได้จะมีค่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 22.13 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก และจะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงฤดูหนาว ระหว่างเดือน ธันวาคม 2551 – กุมภาพันธ์ 2552 มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.61 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ส่วนในฤดูร้อนค่าของแฉ่งที่สามารถเผาไหม้ได้จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 16.70 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก

จากนั้นทำการแยกมูลฝอยออกเป็น 3 ประเภท คือ สารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ง่าย สารอินทรีย์ย่อยสลายยาก และสารอนินทรีย์ ซึ่งผลจากการศึกษาอธิบายได้ดังนี้

สารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายได้ง่าย ส่วนมากจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีค่าความชื้นค่อนข้างสูงและองค์ประกอบทางโมเลกุลมีลักษณะที่ไม่ค่อยซับซ้อน จุลินทรีย์สามารถที่จะย่อย

สลายสารเหล่านี้ได้เลย ทำการศึกษาสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ง่ายได้ด้วยวิธีการแยกองค์ประกอบของมูลฝอย ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร กระดาษ และใบไม้ ตามลำดับ การทดลองของ Barlaz *et al.* (1987); Combs *et al.*, (1988) ได้ทำการศึกษาผลของการแยกประเภทมูลฝอยต่อพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลฝอย สรุปได้ว่ามูลฝอยที่มีองค์ประกอบของสารที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายจะมีผลทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนได้มากขึ้นผลของการคัดแยกมูลฝอยที่เทศบาลนครแหลมฉบังทำให้ทราบว่าค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายง่ายมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 26.67 – 68.16 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก โดยค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าร้อยละ 49.26 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ทั้งนี้จากการศึกษายังพบว่าค่าฤดูกาลมีผลต่อค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลาย พบว่าช่วงระหว่างเดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2552 ค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายง่ายจะมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 57.75 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ง่ายจะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 45.29 และ 36.25 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ตามลำดับ สรุปได้ว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยที่เข้ามามีผลต่อค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ง่าย

สารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายได้ยาก ทำการศึกษาได้ด้วยวิธีการแยกองค์ประกอบของมูลฝอย ซึ่งได้แก่ พลาสติก ยาง เศษผ้า และ โฟม ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของสารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายได้ยากจะเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีลักษณะค่อนข้างซับซ้อนจนทำให้จุลินทรีย์ต้องใช้ระยะเวลาที่นานจึงจะสามารถย่อยสลายได้หรือบางประเภทก็ไม่สามารถที่จะย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ เช่น พลาสติก เป็นต้น มูลฝอยเหล่านี้ ได้แก่ พลาสติก ยาง และเศษผ้า เป็นต้น จากการคัดแยกองค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้ามาในพื้นที่ของหลุมฝังกลบ ทำให้ทราบว่าค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ยากมีค่าระหว่างร้อยละ 32.86 – 68.16 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก โดยพบว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ยาก ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายยากจะมีค่าน้อยที่สุดในฤดูฝนในช่วงระหว่าง เดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2552 ที่ร้อยละ 40.39 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ขณะที่ในช่วงฤดูร้อนและหนาวจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 50.62 และ 59.38 โดยน้ำหนักมูลฝอยเปียก ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าองค์ประกอบของมูลฝอยสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ยากจะมีค่าแปรผันผกผันกับสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย

สารอนินทรีย์ เป็นประกอบไปด้วย กระจ่างออลูมิเนียม ชิ้นส่วน โลหะต่างๆและแก้ว เป็นต้น ซึ่งสารอนินทรีย์จะเป็นที่จุลินทรีย์ไม่สามารถทำการย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ ผลจากการศึกษาพบว่าค่าปริมาณของสารอนินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.23 ของน้ำหนักมูลฝอยเปียก ทั้งนี้ปริมาณของสารอนินทรีย์ที่เข้าสู่หลุมฝังกลบในปริมาณที่น้อยนั้นเป็นผลเนื่องมาจากมูลฝอยประเภทสารอนินทรีย์สามารถที่จะนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ (Recycle) จึงมีการคัดแยกหลายครั้งตั้งแต่ที่แหล่งกำเนิดมูลฝอย ไปจนถึงคนเก็บของเก่าขาย

นอกจากนี้ยังทำการศึกษาค่าประกอบของมูลฝอยทางเคมีของธาตุที่อยู่ภายในมูลฝอยสดของทางเทศบาลนครแหลมฉบังซึ่งได้ทำการศึกษาค่าประกอบของธาตุดังต่อไปนี้

คาร์บอน จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยสดของเทศบาลนครแหลมฉบังที่เข้ามาในแต่ละเดือนนั้นพบว่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 29.30 – 54.60 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 41.52 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง จากสังเกตจากราย 11 ทำให้ทราบว่า ฤดูกาลและปริมาณของน้ำฝนจะเข้ามามีอิทธิพลต่อปริมาณของคาร์บอนในมูลฝอย โดยพบว่าในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2551 – กุมภาพันธ์ 2552 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวค่าองค์ประกอบของคาร์บอนในมูลฝอยจะมีค่าสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 47.83 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ขณะที่ในช่วงเดือน มีนาคม – พฤษภาคม 2552 และระหว่างช่วงเดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2552 ซึ่งอยู่ช่วงของฤดูร้อนและฤดูฝน ค่าองค์ประกอบของคาร์บอนที่อยู่ในมูลฝอยจะมีค่าร้อยละ 46.20 และ 36.02 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้ใกล้เคียงกับ กรมควบคุมมลพิษ (2547) ที่ได้ทำโครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยชุมชนของเทศบาลทั่วประเทศพบว่าธาตุคาร์บอนในมูลฝอยชุมชนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 41.31 – 53.30 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง และสอดคล้องกับวิจารณ์ (2543) ที่ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยสดของเทศบาลนครนนทบุรีพบว่าปริมาณของคาร์บอนในมูลฝอยเท่ากับร้อยละ 42.78 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 พบว่ามูลฝอยมีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.98 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง โดยค่าองค์ประกอบของไนโตรเจนในมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังที่ตรวจพบมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ

0.70 – 1.31 โดยน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ข้อมูลใกล้เคียงกับค่าองค์ประกอบของไนโตรเจนที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.10 – 3.50 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ซึ่งมาจากการศึกษาองค์ประกอบมูลฝอยสดของเขตเทศบาลทั่วประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ซัลเฟอร์ สารประกอบซัลเฟอร์เป็นสารที่สามารถพบอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่อยู่ในพืช สัตว์ จุลินทรีย์ และสิ่งปฏิกูล ซึ่งส่วนมากจะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน เช่น Cystine, Methionine, Vitamin B, Tiamine, Biotin เป็นต้น เมื่อจุลินทรีย์ประเภท Heterotrophic Bacteria ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์จะปลดปล่อยสารอนินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นออกมา โดยจุลินทรีย์จะนำส่วนหนึ่งไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ จากการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ที่ได้จากการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.72 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง โดยค่าที่ได้มีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ รายงานของ กรมควบคุม, 2547; วิจารณ์ 2537 ที่ทำการศึกษาค่าองค์ประกอบของซัลเฟอร์ในมูลฝอยสดพบมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.0 – 0.3 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง นอกจากนี้ Dick and Bakti (1992) ยังพบว่าหากอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับกำมะถัน (C:S ratio) เมื่ออัตราส่วนนี้น้อยกว่า 200 จะปลดปล่อยซัลเฟอร์เข้าสู่ดินในรูปซัลเฟต แต่ถ้ามากกว่า 400 สารอนินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้แปลงสภาพเพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยข้อมูลที่ได้จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่ระหว่างคาร์บอนกับซัลเฟอร์ (C:S ratio) ของมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังมีค่าอยู่ช่วงระหว่าง 31.37 - 126.30 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในมูลฝอยที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนสำหรับพลังงานและไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน จุลินทรีย์ต้องการใช้คาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน (C:N=30:1) ของน้ำหนักแห้ง ในการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ (การหมักปุ๋ย) อัตราส่วน C:N จะช่วยควบคุมความเร็วในการย่อยจุลินทรีย์ ถ้าปริมาณของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก (มีคาร์บอนมาก) การย่อยสลายจะช้า และถ้ามีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก (ไนโตรเจนสูง) จะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียออกสู่บรรยากาศและส่งกลิ่นเหม็น วัตถุดิบอินทรีย์ส่วนมากไม่ได้มีอัตราส่วน C:N = 30:1 จึงจำเป็นต้องทำการผสมวัตถุดิบอินทรีย์เพื่อเพิ่มอัตราส่วนที่

ถูกต้อง ปุ๋ยที่หมักเสร็จแล้วจะต้องมีค่า C:N ไม่เกิน 20:1 เพื่อป้องกันการคั่งไนโตรเจนจากดินเมื่อนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน ผลของการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังมีค่าสูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ที่ร้อยละ 80.69 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง กับมีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำที่สุดในเดือนมิถุนายนอยู่ที่ 37.64 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ทั้งนี้ในเดือนดังกล่าวมีองค์ประกอบของมูลฝอยเป็นโพลีเอทิลีนและกระดาษในปริมาณที่สูงมาก และมีค่าเฉลี่ยของการทดลองอยู่ที่ร้อยละ 44.92 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง

สรุปผลการศึกษาค่าองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนเทศบาลนครแหลมฉบังทำให้ทราบว่า แม้องค์ประกอบของมูลฝอยเทศบาลแหลมฉบังมีลักษณะสมบัติที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ฤดูกาลก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายง่ายทำให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าค่าองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายง่ายที่ประกอบไปด้วย เศษอาหาร กระดาษ ใบไม้และเศษไม้ จะมีค่าสูงสุดในช่วงของฤดูฝนและมีค่าลดลงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวตามลำดับ ซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าความจุภาคสนามและองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในมูลฝอยจะมีค่าต่ำที่สุดในช่วงฤดูฝน และพบว่าของแข็งที่เผาไหม้ได้ของมูลฝอยจะมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝน และมีค่าลดลงในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวตามลำดับ

ตารางที่ 8 องค์ประกอบและลักษณะสมบัติทางกายภาพของมูลฝอยในพื้นที่ฝั่งกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง

องค์ประกอบ	2551						2552						เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		
พลาสติก	40.58	36.22	44.58	30.42	14.41	30.53	15.84	22.09	21.68	15.33	20.80	18.34	25.90	10.33
เศษอาหาร	17.31	9.80	19.64	14.35	48.13	35.85	17.88	31.58	31.05	17.94	32.64	28.07	25.35	11.00
ไม้และใบไม้	22.71	4.23	12.85	4.10	1.59	2.85	11.37	9.76	20.16	7.32	13.67	13.22	10.32	6.71
กระดาษ	1.94	12.64	7.64	10.58	7.20	11.21	20.22	19.71	11.65	24.60	17.96	17.72	13.59	6.58
โฟม	1.11	0.95	0.64	-	3.60	4.60	15.8	6.97	5.85	9.41	4.09	7.07	5.01	4.51
เศษผ้า	10.53	26.17	10.19	10.78	24.49	6.56	11.37	8.62	6.08	21.39	7.32	11.58	12.92	7.01
ยาง	1.94	3.98	-	21.16	-	5.31	3.94	0.36	1.38	2.14	1.35	1.23	3.57	5.79
โลหะ	1.39	-	0.64	3.85	-	1.21	2.30	0.64	0.86	1.26	0.87	1.18	1.18	1.04
แก้ว	2.08	5.17	3.82	4.76	0.58	1.88	1.28	0.27	1.29	0.61	1.30	1.59	2.05	1.64
อื่นๆ	0.41	0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.26
ลักษณะทางกายภาพ														
ค่าความจุภาคสนาม (% โดยน้ำหนักเปียก)	59.52	49.06	49.91	63.53	70.18	44.14	33.99	35.99	21.20	19.73	18.32	40.62	42.18	16.51
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	330.10	305.73	302.55	232.01	214.97	447.45	275.48	289.81	285.03	345.54	351.91	315.29	307.99	60.08

หมายเหตุ: องค์ประกอบทางกายภาพมีค่าเท่ากับร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 9 ลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยในพื้นที่ฝั่งกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง

ลักษณะทางเคมี	2551		2552										เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		
ปริมาณความชื้น	80.68	79.36	70.56	88.94	77.70	62.58	76.14	69.92	53.73	61.39	63.42	63.45	70.56	70.56
ปริมาณของแข็งรวม	19.32	20.64	29.44	11.06	22.30	37.42	23.86	30.08	46.27	38.61	36.58	36.55	29.44	29.44
ปริมาณสารเผาไหม้	15.62	15.10	20.29	5.87	13.58	30.64	12.85	23.45	30.08	29.05	23.96	22.74	20.29	20.29
ปริมาณเถ้า	3.70	5.54	9.15	5.19	8.72	6.78	11.01	6.63	16.19	9.56	12.62	14.84	9.15	9.15
ปริมาณสารเผาไหม้ (ไม่รวมพลาสติก)	16.50	12.90	22.50	7.89	19.25	31.13	18.50	25.00	34.51	30.75	29.39	27.89	22.50	22.50
ปริมาณเถ้า (ไม่รวมพลาสติก)	2.82	2.20	6.94	3.17	3.05	6.29	5.36	5.08	11.76	7.86	7.19	8.66	6.94	6.94
ประเภทของมูลฝอย														
สารอินทรีย์	96.53	94.83	96.77	91.39	99.42	96.91	96.42	99.09	97.85	98.13	97.83	97.23	96.77	96.77
สารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ง่าย	41.96	26.67	49.26	29.03	56.92	49.91	49.47	61.05	62.86	49.86	64.27	59.01	49.26	49.26
สารอินทรีย์ประเภทย่อยสลายได้ยาก	54.57	68.16	47.51	62.36	42.50	47.00	49.95	38.04	34.99	48.27	32.86	38.22	47.51	47.51
สารอนินทรีย์	3.47	5.17	3.23	8.61	0.58	3.09	3.58	0.91	2.15	1.87	2.17	2.77	3.23	3.23

หมายเหตุ: ร้อยละ โดยน้ำหนักของมูลฝอยเปียก

ตารางที่ 10 ลักษณะธาตุองค์ประกอบของมูลฝอยในพื้นที่ฝั่งกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง

ธาตุองค์ประกอบ	2551						2552						เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		
คาร์บอน	39.50	45.90	41.52	39.10	51.30	48.20	33.50	54.60	29.80	29.80	39.10	29.30	41.52	8.59
ไฮโดรเจน	5.39	4.88	4.37	3.54	4.06	5.46	3.59	5.20	4.33	5.02	4.37	4.37	4.37	0.65
ออกซิเจน	34.35	20.46	20.49	8.16	3.92	26.81	15.37	16.59	29.49	38.17	20.09	26.92	20.49	10.07
ไนโตรเจน	0.93	1.03	0.98	1.31	0.94	0.84	0.89	0.96	0.84	1.30	1.04	1.02	0.98	0.15
ซัลเฟอร์	0.67	0.89	0.72	0.97	0.68	0.57	0.49	0.60	0.56	0.95	0.91	0.86	0.72	0.17
เถ้า	19.16	26.84	31.92	39.10	39.10	18.12	46.16	22.05	34.98	24.76	34.49	37.49	31.92	8.91
คาร์บอน : ไนโตรเจน (C:N ratio)	42.47	44.56	44.92	53.37	54.57	57.38	37.64	56.88	35.48	22.92	42.97	34.07	44.92	10.47
คาร์บอน : ซัลเฟอร์ (C:S ratio)	58.96	51.57	61.14	71.24	75.44	84.56	68.37	91.00	53.21	31.37	42.97	34.07	61.14	18.83

หมายเหตุ : ร้อยละ โดยน้ำหนักของมูลฝอยแห้ง

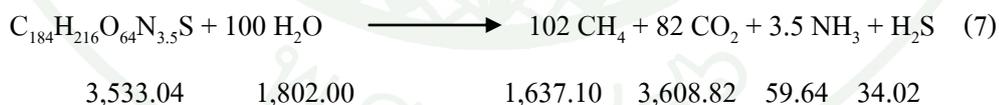
1.3. การประเมินศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ฝังกลบ

จากการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบธาตุทางเคมีของมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังดังกล่าวสามารถนำมาหาสูตรโมเลกุลของมูลฝอยสดที่เข้าสู่พื้นที่ฝังกลบได้ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าองค์ประกอบโมเลกุลของมูลฝอยสดเทศบาลนครแหลมฉบัง

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	เลขมวล (M)	โมล	สัดส่วน โมล (N=1)
คาร์บอน	44.02	12.01	3.68	184.00
ไฮโดรเจน	4.37	1.01	4.32	216.00
ออกซิเจน	20.49	16.00	1.28	64.00
ไนโตรเจน	0.98	14.01	0.07	3.50
ซัลเฟอร์	0.72	32.00	0.02	1.00

จากตารางที่ 12 สูตรโมเลกุลมูลฝอยสดที่คำนวณได้คือ $C_{184}H_{216}O_{64}N_{3.5}S$ และจากสูตรดังกล่าวสามารถคำนวณหาอัตราการผลิตก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีที่มีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ ได้ดังสมการที่ 7



จากสมการที่ 7 สามารถคำนวณปริมาณของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยสดของเทศบาลนครแหลมฉบัง

$$CH_4 = 1,637.10/3,533.04 \text{ g } CH_4 / \text{g ของมูลฝอยทั้งหมด}$$

$$= 0.463 \text{ g } CH_4 / \text{g ของมูลฝอยทั้งหมด}$$

เมื่อทำการพิจารณาจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายง่าย คือค่า องค์ประกอบของ เศษอาหาร กระดาษ ใบไม้และเศษไม้ โดยมีปริมาณรวมกันคิดเป็นสัดส่วนเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 49.26 ของมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณของมีเทนที่สามารถผลิตขึ้นได้ จากสารอินทรีย์ย่อยสลายง่าย ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 &= 0.463 \times 49.26 \text{ g CH}_4 / 100 \text{ g ของมูลฝอยทั้งหมด} \\ &= 228.07 \text{ g CH}_4 / \text{kg ของมูลฝอยทั้งหมด} \end{aligned}$$

ในขณะที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมาจากการย่อยมูลฝอยสดของ เทศบาลนครแหลมฉบัง ตามสมการที่ 7 คือ

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 3,608.82 / 3,533.04 \text{ g CO}_2 / \text{g ของมูลฝอยทั้งหมด} \\ &= 1.021 \text{ g CO}_2 / \text{g ของมูลฝอยทั้งหมด} \end{aligned}$$

เมื่อทำการพิจารณาจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย โดยมีปริมาณ รวมกันคิดเป็นสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 49.26 ของมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณ ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถผลิตขึ้นได้จากสารอินทรีย์ย่อยสลายง่าย ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 1.021 \times 49.26 \text{ g CO}_2 / 100 \text{ g ของมูลฝอยทั้งหมด} \\ &= 502.95 \text{ g CO}_2 / \text{kg ของมูลฝอยทั้งหมด} \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในหลุมฝังกลบ สามารถ ประเมินได้จากค่าองค์ประกอบของมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังมีค่าเท่ากับ 228.07 และ 502.95 กรัมต่อกิโลกรัมของมูลฝอย ตามลำดับ ขณะที่การศึกษาของ วิจารย์ (2543) ที่ได้ทำการประเมินค่า อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์จากองค์ประกอบของมูลฝอยสดเทศบาลนคร นนทบุรีมีค่าเท่ากับ 171.80 และ 390.00 กรัมต่อกิโลกรัมของมูลฝอย ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่า องค์ประกอบมูลฝอยของเทศบาลนครนนทบุรีมีค่าคาร์บอนเท่ากับ 42.48 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง

และค่าสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายอยู่ร้อยละ 42.20 ของน้ำหนักมูลฝอยเปียก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าของเทศบาลนครแหลมฉบังที่มีค่าคาร์บอนเท่ากับ 44.02 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง และค่าสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายอยู่ร้อยละ 49.26 ของน้ำหนักมูลฝอยเปียก สรุปได้ว่าการคำนวณอัตราการผลิตก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีการประเมินจากองค์ประกอบมูลฝอยสดนั้น ถ้าค่าองค์ประกอบของคาร์บอนและสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายในมูลฝอยมีมากขึ้นจะมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นตามไปด้วย

2. การตรวจวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง

ผลการตรวจวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 8 จุด ด้วยวิธีการ Close Flux Chamber ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม 2552 – มิถุนายน 2553 รวมระยะเวลาการศึกษาทั้งสิ้น 11 เดือน พบว่าค่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบทั้ง 8 จุด มีค่าเฉลี่ยของการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบตลอดช่วงที่ได้ทำการศึกษาอยู่ที่ 31.74 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ทั้งนี้ค่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมีค่าที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งพื้นที่หลุมฝังกลบ ซึ่งอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.02 – 225.28 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างจุดอยู่ที่ 9.85 – 73.72 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างเดือนที่ทำการตรวจวัดก๊าซมีเทนอยู่ที่ 0.29 – 72.18 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 22.68 ดังตารางที่ 13

ซึ่งผลของการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Borjesson and Svensson (1997) ที่ได้ทำการตรวจวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ โดยกำหนดระยะระหว่างจุดตรวจวัดก๊าซให้ห่างกันประมาณ 4 เมตร ในพื้นที่ Hokhuvd ประเทศสวีเดน จำนวน 4 จุด พบว่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0 – 0.02, 0.53 – 0.92, 0.42 – 1.30 และ 0 – 0.16 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน จากผลการศึกษาการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ฝังกลบในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น 1 ปีแรกของการฝังกลบแสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะทำการตรวจวัดก๊าซมีเทนที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน แต่อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบนั้นก็ยังมีค่าไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งบริเวณพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอย

ตารางที่ 13 ผลตรวจวัดอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง

เดือน	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	เฉลี่ย	S.D.
ส.ค. 52	0.03	-	0.54	-	-	-	-	-	0.29	0.36
ก.ย. 52	0.51	0.05	1.06	0.37	-	-	-	-	0.50	0.42
ต.ค. 52	0.02	2.01	3.33	0.15	65.28	-	-	-	14.16	28.61
พ.ย. 52	4.04	0.99	2.35	5.63	90.60	3.63	21.98	22.41	18.95	30.21
ธ.ค. 52	5.08	2.04	2.36	2.21	33.72	2.82	1.84	0.77	6.36	11.12
ม.ค. 53	22.81	6.69	10.87	14.85	9.59	74.96	8.02	33.93	22.72	23.00
ก.พ. 53	29.85	24.66	24.54	30.46	225.28	71.22	168.13	3.33	72.18	80.58
มี.ค. 53	29.52	42.38	74.98	6.09	132.47	12.21	99.78	20.83	52.28	45.59
พ.ค. 53	75.13	16.01	50.20	12.23	115.89	14.13	65.82	17.38	45.85	37.83
มิ.ย. 53	20.98	33.11	71.41	16.68	4.87	37.61	31.52	2.87	27.38	21.80
เฉลี่ย	18.80	14.22	24.16	9.85	84.71	30.94	56.73	14.50	31.74	26.02
S.D.	23.28	15.78	30.09	9.85	73.72	31.02	59.96	12.50	22.68	22.48

หมายเหตุ: - ยังไม่ทำการฝังกลบมูลฝอยถึงตำแหน่งของชั้นที่ได้ทำการตรวจวัด

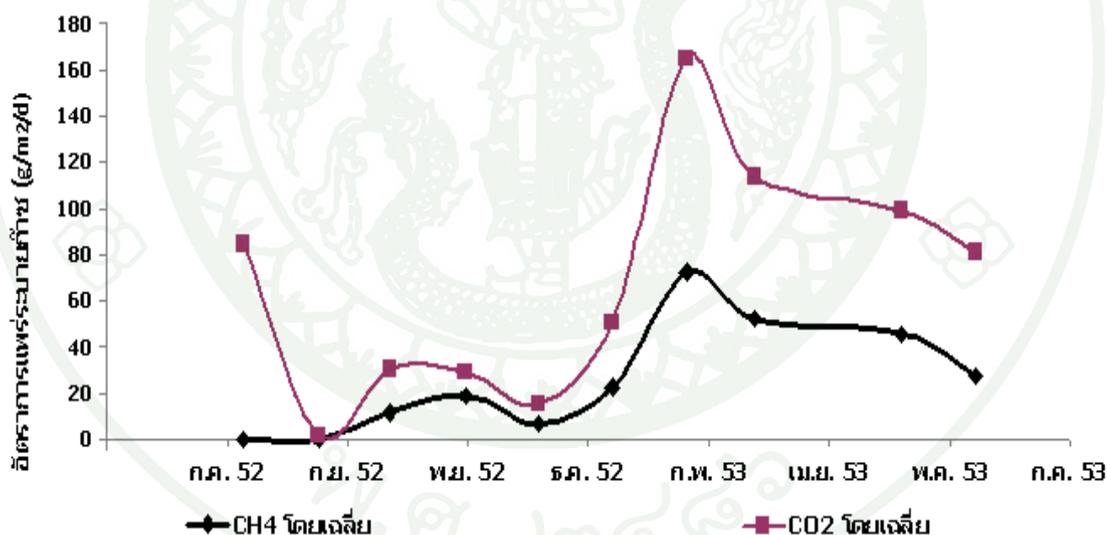
เมื่อนำข้อมูลที่ได้ทำการตรวจวัดมาทำการศึกษาลักษณะของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ พบว่าจะมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยโดยสามารถแบ่งรูปแบบการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ ระยะเวลาเดือน สิงหาคม – พฤศจิกายน 2552 ในช่วงนี้มีค่าเฉลี่ยการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนระหว่างเดือนเท่ากับ 0.29 – 18.95 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยของการแพร่ระบาดในฤดูกาลนี้มีค่า 8.48 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน การแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบมีลักษณะที่ค่อนข้างต่ำในทุกจุดของหลุมฝังกลบอาจจะเป็นผลมาจาก ณ ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เพิ่งเริ่มดำเนินการฝังกลบมูลฝอยซึ่งอายุของการฝังกลบมูลฝอยที่จุดตรวจวัดจะมีค่าประมาณ 1 – 4 เดือน ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาในการปรับตัวของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ และปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่บริเวณหลุมฝังกลบเป็นจำนวนมากจนมีผลต่อสภาพของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ หลังจากนั้นในช่วงระหว่างเดือน ธันวาคม 2552 – กุมภาพันธ์ 2553 ซึ่งเป็นช่วงของฤดูหนาวมีค่าการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนเฉลี่ยระหว่างเดือนอยู่ที่ 6.36 – 72.18 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมีลักษณะแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ระยะเวลาของอายุการฝังกลบมูลฝอยจะอยู่ระหว่างในช่วง 1-7 เดือน ซึ่งจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Bacteria) น่าจะ

ปรับตัวจนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายได้ง่ายได้เป็นจำนวนมากและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่เริ่มมีค่าลดลงทำให้ก๊าซมีเทนสามารถแพร่ระบายนอกจากหลุมฝังกลบได้ง่ายขึ้นซึ่งสอดคล้องรายงานของ Karnchanawong *et al.*, (1995) และ สมใจ กาญจนวงศ์ (2539) ที่การศึกษาการย่อยสลายหลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูฝน สภาพการย่อยสลายจะเข้าสู่ช่วง Methanogen ในระยะเวลาเพียง 150 ถึง 200 วันเท่านั้น ในขณะที่การฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูแล้ง การย่อยสลายมูลฝอยจะเข้าสู่ช่วง Methanogen ในระยะเวลาประมาณ 500 วัน ยกเว้นในเดือน ธันวาคม ที่อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบจะมีค่าลดลงไปเป็นอย่างมากทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากการที่ไม่มีน้ำฝนตกลงมา ณ บริเวณดังกล่าว และในช่วงเดือน มีนาคม-พฤษภาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนจะพบว่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบมีค่าอยู่ที่ช่วง 27.38 – 52.28 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีค่าเฉลี่ยของการแพร่ระบายเท่ากับ 41.84 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งหลังจากเดือนมีนาคม 2553 การแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบจะเริ่มมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่บริเวณพื้นที่หลุมฝังกลบเริ่มมีปริมาณของน้ำฝนตกลงมามากขึ้นและสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเริ่มมีปริมาณที่ลดน้อยลงมาก

หลังจากทำการศึกษาผลของการตรวจวัดการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบด้วยวิธีการ Close Flux Chamber ยังพบว่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและค่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.02 – 225.28 และ 0.87 – 554.56 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ดังตาราง 14) แม้ว่าค่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซทั้ง 2 ชนิดออกจากหลุมฝังกลบของทั้ง 8 จุด จะมีค่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซที่แตกต่างกันเป็นอย่างมาก แต่พบว่ารูปแบบของการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบนั้น จะมีลักษณะที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน ซึ่งผลของอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและอัตราการแพร่ระบายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยแสดงให้เห็นดังภาพที่ 17 และผลของการศึกษาของ สุรัตน์ (2546) ที่ทำการตรวจวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบ เทศบาลนครนครปฐม ด้วยวิธี Close Flux Chamber จำนวน 4 จุดในช่วงเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2545 พบว่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0 – 88.94 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนอัตราการแพร่ระบายคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 34.91 – 348.01 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซออกจากหลุมฝังกลบนั้นมีค่าไม่สม่ำเสมอแม้จะอยู่ในระยะที่ห่างกันไม่มากนัก และข้อมูลยังสนับสนุนให้เห็นถึงอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากหลุมฝังกลบมีลักษณะของการแพร่ระบายก๊าซที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 14 อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอน ไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบังในช่วงระหว่างเดือน สิงหาคม 2552 – มิถุนายน 2553

Point	Methane emission rate (g/m ² /d)			Carbon dioxide emission rate (g/m ² /d)		
	min	max	average	min	max	average
1	0.03	75.13	18.80	1.84	162.25	71.12
2	0.05	42.38	14.22	0.87	123.46	30.89
3	0.54	74.98	24.16	1.28	194.34	60.43
4	0.15	30.46	9.85	1.78	64.44	24.63
5	4.87	225.28	84.71	14.13	554.56	178.67
6	0.42	74.96	30.94	3.71	197.94	64.78
7	1.84	168.13	56.73	4.05	296.59	108.09
8	0.67	33.93	14.50	12.13	74.83	38.36



ภาพที่ 21 อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบ

ทั้งนี้ อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมีเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน เป็นผลมาจากหลากหลายปัจจัย เช่น อายุของการฝังกลบ ฤดูกาล สภาพอากาศ ลักษณะหน้าดิน Christophersen *et al.* (2000); Ullas Hegde *et al.* (2003)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ ได้แก่ ปัจจัยเรื่องขององค์ประกอบมูลฝอย อายุของการฝังกลบ และปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ฝังกลบ โดยพบว่าอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยจะมีค่าความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย และปัจจัยเรื่องของปริมาณน้ำฝน เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับฤดูกาลนั้นว่าน่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบ ซึ่งพบว่าในช่วงฤดูร้อนอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมีค่ามากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.84 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน รองลงมาคือฤดูหนาวที่มีค่าเฉลี่ยของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนอยู่ที่ 33.75 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และฤดูฝนอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยจะมีค่าที่ต่ำที่สุด 8.48 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้ลักษณะการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหลุมฝังกลบมีรูปแบบของการแพร่ระบาดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

3. ปัจจัยที่มีผลกับการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น

3.1. ปัจจัยเรื่องของอัตราการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบ

ทำการศึกษาเรื่องการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบ โดยใช้ค่าดัชนีสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวคินฝังกลบเป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพของการย่อยสลายมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่หลุมฝังกลบ ถ้าค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวคินฝังกลบมีค่ามากกว่า 1.0 แสดงว่ามูลฝอยใต้พื้นที่ฝังกลบ ณ บริเวณดังกล่าวไม่ได้ถูกรบกวนด้วยปัจจัยเรื่องการแพร่ระบาดของอากาศมีจุลินทรีย์ที่ได้ทำการย่อยสลายมูลฝอยเป็นแบบไร้อากาศ (Anaerobic) และหากพบว่าค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยกว่า 1.0 ก็แสดงว่ามูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบที่บริเวณดังกล่าวมีสภาพที่น่าจะมีการแพร่ระบาดของอากาศเข้าไปในพื้นที่หลุมฝังกลบ ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ได้ทำการย่อยสลายมูลฝอยเป็นแบบใช้อากาศ (Aerobic) ทั้งนี้จากผลการศึกษา ณ จุดตรวจวัดที่ 7 ที่ได้ทำการทดลองการสร้างปัจจัยการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบก็ยังสามารถช่วยสนับสนุนการเรื่องของการนำค่าดัชนีสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวคินฝังกลบมาใช้อธิบายปัจจัยเรื่องของอากาศเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบมูลฝอย โดยพบว่าในช่วง มกราคม 2552 ที่มูลฝอยในจุดนี้มีอายุของการฝังกลบมาได้ 4 เดือน พบว่าค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ในตลอดช่วงระยะเวลา 4 เดือนนี้มีค่ามากกว่า 1.0 หลังจากนั้นได้ทำการจำลองโดยสร้างปัจจัยเรื่องการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบ ด้วยวิธีการเปิดหน้าดินที่ได้ทำการฝังกลบมูลฝอย

เพื่อให้ห้อากาศสามารถแพร่ระบายเข้าสู่พื้นที่ฝงกลบที่บริเวณจุดตรวจวัดที่ 7 หลังจากนั้นทำการปิดทับหลุมฝงกลบมูลฝอยด้วยดินที่ไม่ต้องทำการบดอัดในบริเวณดังกล่าว จากการศึกษพบว่าค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฝิวดินฝงกลบมูลฝอยที่จุดตรวจวัดก๊าซที่ 7 ในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ซึ่งเป็นช่วงอายุของการฝงกลบมูลฝอยในที่ 5 มีค่าอยู่ที่ 0.88 และค่าสัดส่วนมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงอายุของการฝงกลบมูลฝอยหลังจากนี้ก็มีค่าต่ำกว่า 1.0 จากผลของการทดลองข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่ออากาศเข้ามาบกรวนในพื้นที่ของหลุมฝงกลบจะมีผลทำให้ค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดต่ำลง ดังแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 26

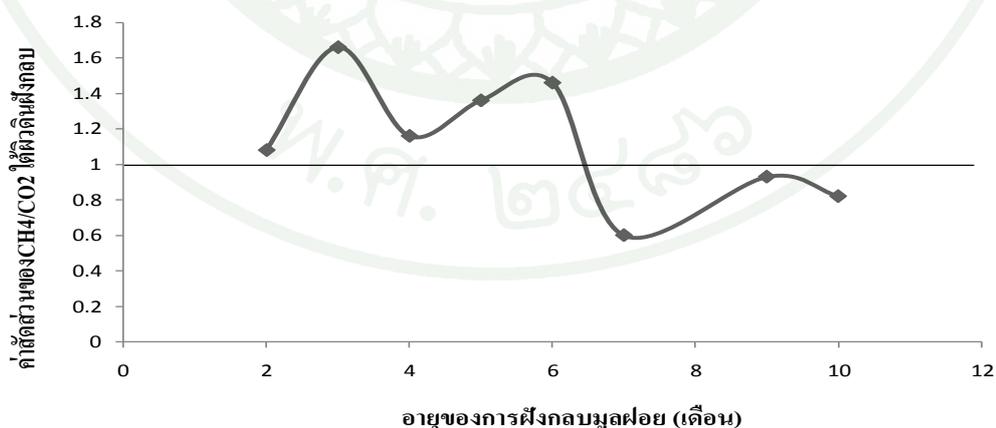
จากผลของการตรวจวัดค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฝิวดินฝงกลบมูลฝอยเมื่อเปรียบเทียบกับอายุของการฝงกลบมูลฝอย ตามที่ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 15 พบว่าผลของการตรวจวัด ณ จุดตรวจวัดที่ 1, 5 และ 8 นั้นค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฝิวดินฝงกลบนั้นมีค่าที่ไม่ค่อยแน่นอนตลอดช่วงระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาและมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฝิวดินฝงกลบมีค่าต่ำกว่า 1.00 ทั้งในช่วงของอายุ 6 เดือนแรกของการฝงกลบและตลอดช่วงระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษา

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์สัดส่วนองค์ประกอบของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฝิวดินฝงกลบกับอายุของการฝงกลบ

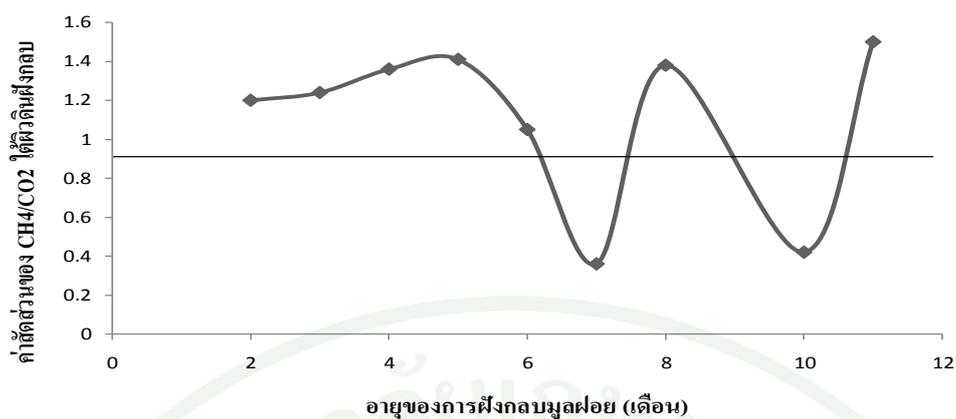
จุดที่	ระยะเวลา 6 เดือน			ตลอดระยะเวลาการทดลอง		
	min	max	average	min	max	average
1	0.11	1.18	0.62	0.11	1.18	0.88
2	1.06	1.66	1.30	0.60	1.66	1.13
3	1.05	1.41	1.25	0.36	1.50	1.10
4	1.33	1.75	1.57	0.71	1.75	1.31
5	0.26	1.00	0.75	0.46	0.46	0.89
6	0.91	1.26	1.11	0.66	1.27	0.99
7	0.87	1.33	1.09	0.87	1.33	1.04
8	0.68	1.18	0.77	1.37	0.54	0.82

ส่วนที่จุดตรวจวัดที่ 2, 3, 4 และ 6 นั้นพบว่าในช่วงอายุ 6 เดือนแรกของการฝังกลบ มูลฝอยค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวดินฝังกลบจะมีค่าที่มากกว่า 1.00 ยกเว้นในจุดตรวจวัดก๊าซที่ 6 ที่มูลฝอยอายุของการฝังกลบเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่จะมีค่าสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวดินฝังกลบมีค่าเท่ากับ 0.91 ส่วนลักษณะค่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวดินฝังกลบในช่วงหลังจาก 6 เดือนแรกของการฝังกลบมูลฝอยจะพบว่ามีค่าที่ค่อนข้างไม่คงที่ไปตลอดจนกระทั่งสิ้นสุดระยะที่ได้การศึกษาและมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดช่วงที่ทำการการศึกษามากกว่า 1.0 ยกเว้นที่จุดตรวจวัดที่ 6 ที่มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.99 ตามภาพที่ 22 - 25

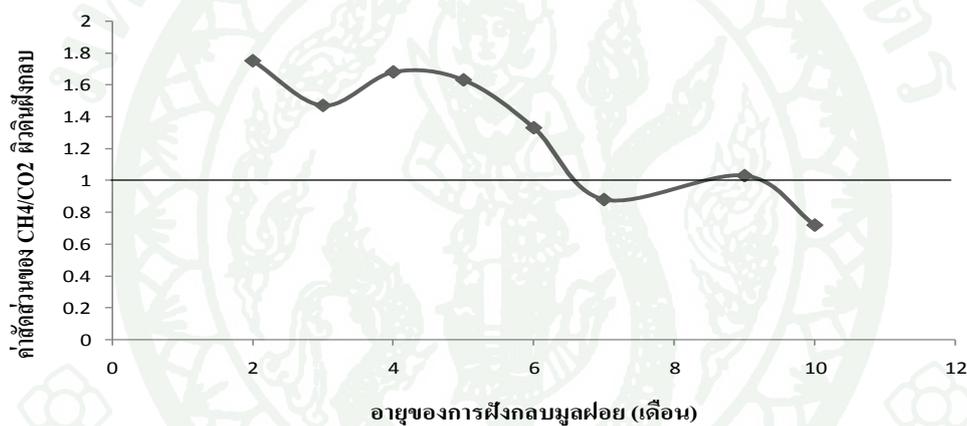
จากข้อมูลของการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซได้ฟิวดินฝังกลบมูลฝอยตามอายุของการฝังกลบมูลฝอยและการสร้างปัจจัยสร้างปัจจัยเรื่องการแพร่กระจายของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบนั้นจึงสามารถที่จะนำมาอธิบายสรุปเพื่อจำแนกลักษณะของที่จุดตรวจวัดก๊าซที่ได้ทำการศึกษาออกมาเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอิทธิพลของการแพร่กระจายของอากาศเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบเข้ามา อิทธิพลนับตั้งแต่ระยะเวลาช่วงเริ่มต้นของการฝังกลบมูลฝอยอันได้แก่จุดตรวจวัดที่ 1, 5 และ 8 กับกลุ่มของจุดตรวจวัดที่ 2, 3, 4 และ 6 ซึ่งเป็นกลุ่มที่การแพร่กระจายของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบเข้ามาไม่มีอิทธิพลหลังช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรกของการฝังกลบมูลฝอย หลังจากนั้นถึงแม้จะมีอิทธิพลเรื่องการแพร่กระจายของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบในบริเวณจุดตรวจวัดก๊าซแต่สภาพส่วนใหญ่ของการย่อยสลายมูลฝอยก็ยังเป็นกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic)



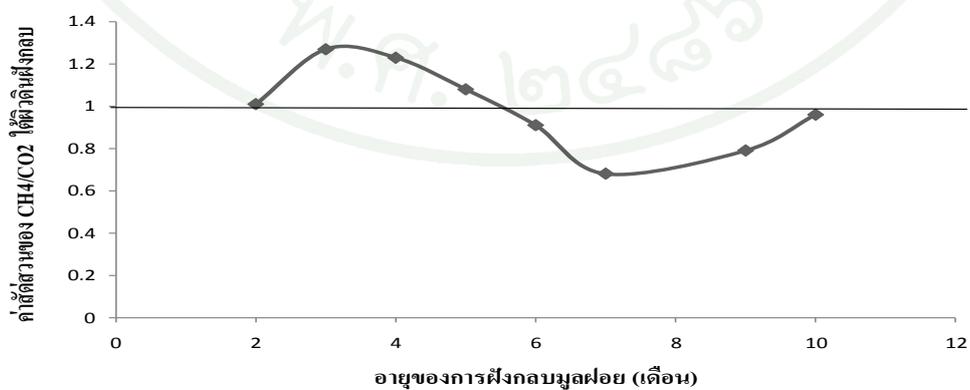
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวดินฝังกลบ จุดที่ 2



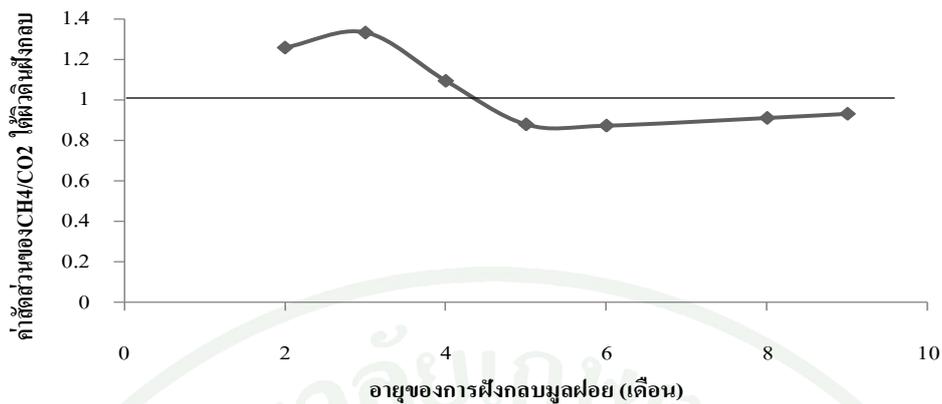
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวจินฝังกลบ จุดที่ 3



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวจินฝังกลบ จุดที่ 4



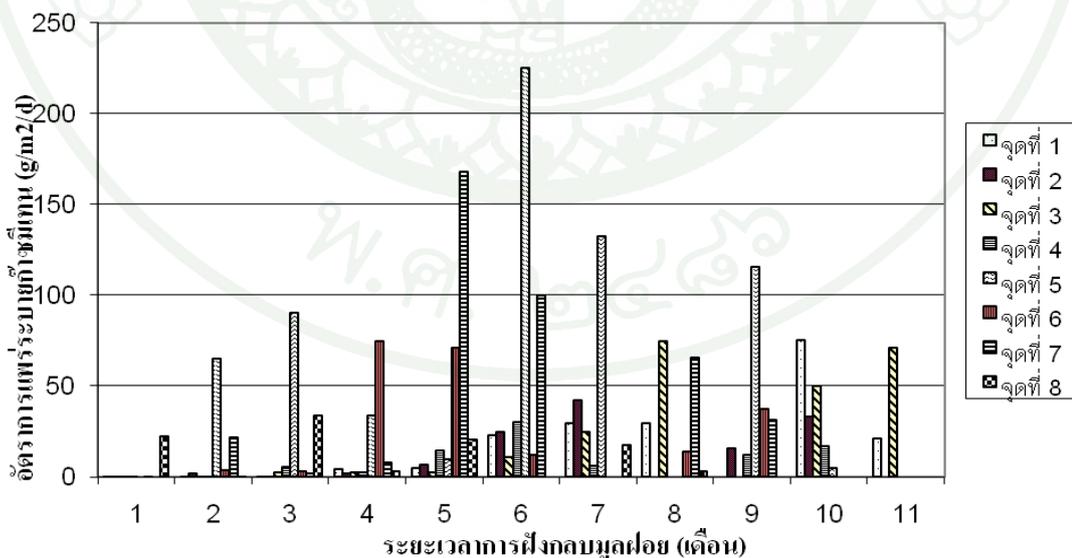
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้ฟิวจินฝังกลบ จุดที่ 6



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ค่าสัดส่วนก๊าซของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ได้วัดดินฝึกลบ จุดที่ 7

3.2 การศึกษาปัจจัยของอายุการฝึกลบมูลฝอยกับอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝึกลบ

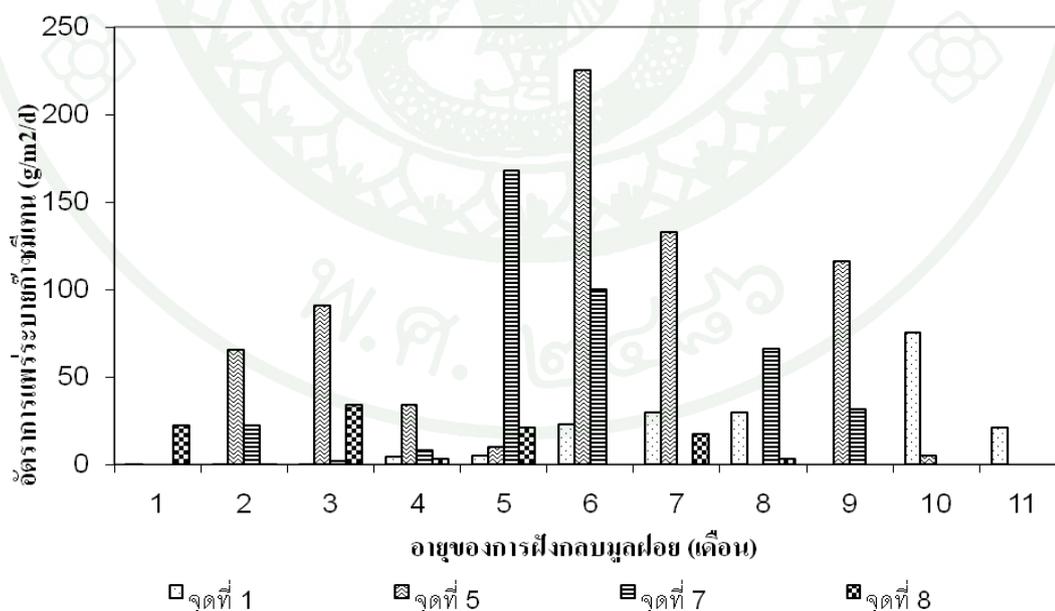
เมื่อนำผลที่ได้จากการตรวจวัดอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝึกลบมาทำการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝึกลบกับอายุของการฝึกลบมูลฝอย ซึ่งแสดงดังภาพที่ 27



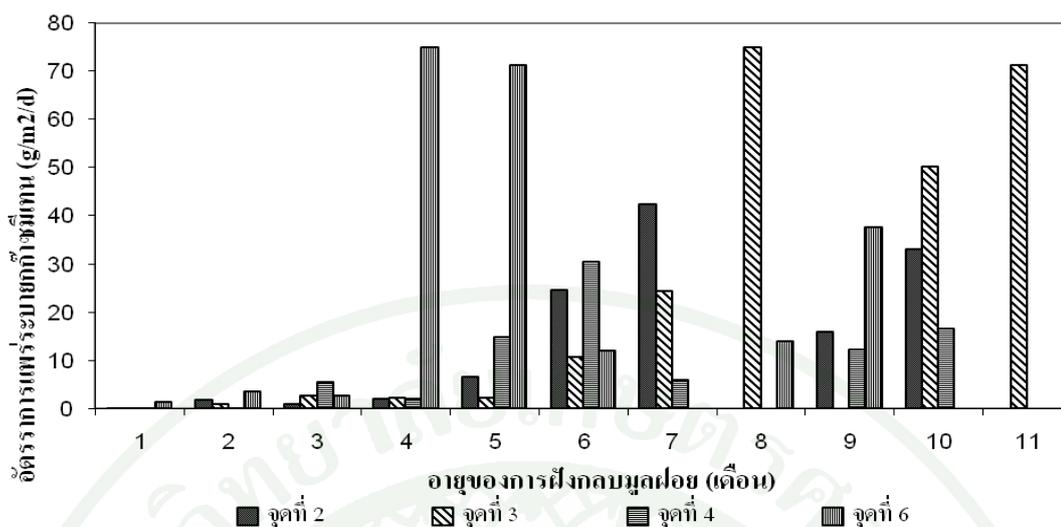
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝึกลบกับอายุของการฝึกลบมูลฝอย

จากนั้นทำการแบ่งจุดตรวจวัดเพื่อหาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบออกมาเป็น 2 กลุ่ม ทำการแยกโดยใช้วิธีการนำเอาปัจจัยเรื่องของการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบของมูลฝอยเพื่อนำมา คือ กลุ่มที่พบว่าปัจจัยของการแพร่ระบาดของอากาศเข้ารอบกวนนับตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการฝังกลบ ได้แก่ จุดตรวจวัดที่ 1, 4 และ 8 ดังภาพที่ 28 กับกลุ่มที่ไม่มีอิทธิพลเรื่องปัจจัยของการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบเข้ามานับตั้งแต่เริ่มต้นหลังจากทำการฝังกลบ ดังภาพที่ 29 หลังจากนั้นจะทำการศึกษาเรื่องของการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยกับเฉพาะจุดตรวจวัดก๊าซที่ 2, 3, 4 และ 6 ทั้งนี้เนื่องจากจุดตรวจวัดอื่นนอกจากนี้จะมีปัญหาเรื่องของการปัจจัยการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบมารบกวนมาตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการฝังกลบมูลฝอย

ซึ่งเมื่อทำการตัดแยกโดยเลือกกลุ่มของจุดตรวจวัดที่ 2, 3, 4 และ 6 ในเฉพาะช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรกของการฝังกลบมูลฝอย มาทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย ทั้งนี้ต้องการที่จะตัดปัญหาเรื่องของการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยที่เข้ามาอิทธิพลต่อสภาพการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบ



ภาพที่ 28 การแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ ณ จุดที่ 1, 5, 7 และ 8



ภาพที่ 29 การแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ ณ จุดที่ 2, 3, 4 และ 6

หลังจากนั้นนำข้อมูลของการตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบที่จุดตรวจวัดก๊าซที่ 2, 3, 4 และ 6 มาทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยในช่วง 6 เดือนแรก โดยใช้สมการ 4 รูปแบบ คือ สมการเส้นตรง (Linear) สมการยกกำลัง (Power) สมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล (Exponential) และสมการลอการิทึม (Logarithmic) จากสมการทั้ง 4 รูปแบบ ดังตารางที่ 16 ทั้งนี้ได้กำหนดให้

$$Y = \text{อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ (g/m}^3\text{/d)}$$

$$X = \text{ระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย (เดือน)}$$

ถ้าหากคำนึงถึงผลของการวิเคราะห์โดยใช้สมการเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยในช่วง 6 เดือนแรก พบว่ามีสมการยกกำลัง (Power) กับสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล (Exponential) ที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้อธิบายค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรก ตามตารางที่ 16 และเมื่อพิจารณาสมการเส้นโค้งเอ็กโปเนนเชียล (Exponential) มีความสัมพันธ์ R^2 อยู่ช่วงระหว่าง 0.804 – 0.883 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ระดับที่ดีค่าความแปรปรวน R^2 มีค่าเท่ากับ 0.043 ส่วนสมการยกกำลัง (Power) ความแปรปรวนของ R^2 เท่ากับ 0.057 ดังนั้นจึงควร

ใช้สมการเส้นโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential) มาอธิบายหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยในช่วง 6 เดือนแรก ตามสมการที่ (8)

$$Y = ae^{bt} \quad (8)$$

โดยที่ Y = อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทน ($\text{g/m}^2/\text{d}$)

a = ค่าความชันที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln Y$ กับ t

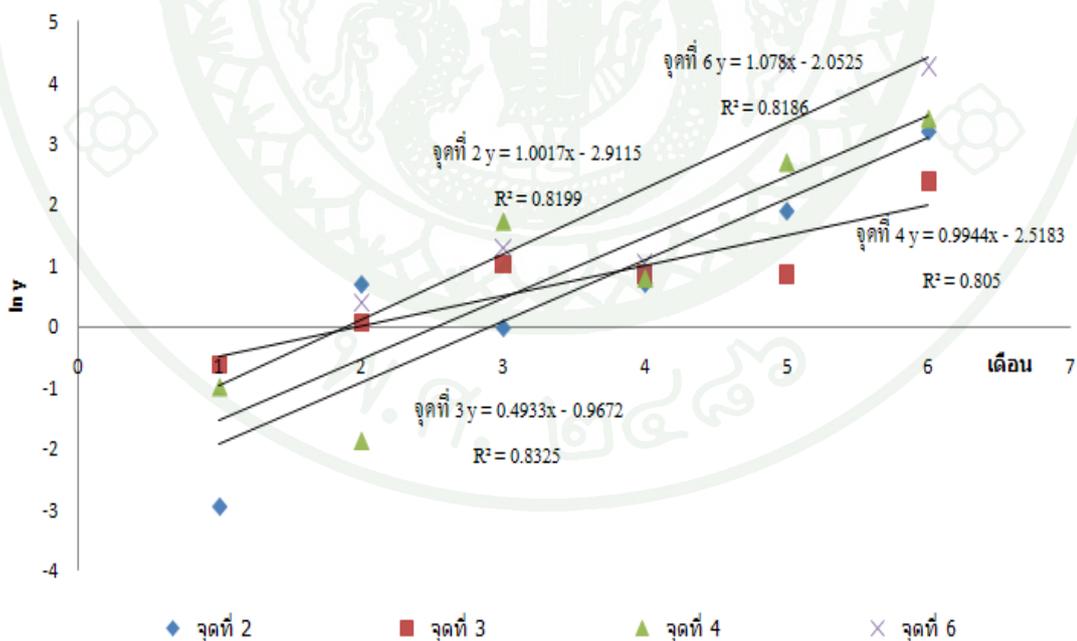
b = ค่าคงที่จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln Y$ กับ t

t = อายุของการฝังกลบ (เดือน)

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์โดยใช้สมการรูปแบบต่างเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรก

จุดที่	รูปแบบสมการ	ค่าความสัมพันธ์ (R^2)
2	$Y = 3.9459X - 7.7370$	0.6183
	$Y = 0.0544e^{1.0016X}$	0.8199
	$Y = 0.0759X^{2.8933}$	0.8583
	$Y = 9.2447 \ln(X) - 4.0635$	0.4258
3	$Y = 1.562X - 2.1934$	0.6038
	$Y = 0.3810e^{0.4933X}$	0.8325
	$Y = 0.4768X^{1.3678}$	0.8030
	$Y = 3.8430 \ln(X) - 0.8912$	0.4504
4	$Y = 5.4603X - 10.1650$	0.7402
	$Y = 0.0860e^{0.9944X}$	0.8050
	$Y = 0.1422X^{2.6565}$	0.7207
	$Y = 13.1980 \ln(X) - 5.5257$	0.5425
6	$Y = 17.1720X - 27.5630$	0.8502
	$Y = 0.5093e^{0.863X}$	0.9024
	$Y = 0.8482X^{2.3341}$	0.8039
	$Y = 44.785 \ln(X) - 15.6920$	0.7034

ทำการปรับสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรกจากสมการเส้นโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential) ให้กลายเป็นสมการเส้นตรงคือ $\ln Y = \ln a + bt$ จากผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและอายุของการฝังกลบตามสมการเส้นตรงแสดงดังภาพที่ 30 พบว่าค่าของข้อมูลที่ทำตรวจวัดนั้นมีความสัมพันธ์ตามสมการดังกล่าวอยู่ระดับในเกณฑ์ที่ดี ($R^2 > 0.800$) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Karnchanawong *et al.*, (1995) และ สมใจ กาญจนวงศ์ (2539) พบความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าแปรผันตรงกับอัตราการลดลงของสารอินทรีย์และอายุของการฝังกลบ พบว่าในช่วงอายุของการฝังกลบที่ 120, 244, 397, 580 และ 1,358 วัน มวลของแข็งที่เผาไหม้ได้มีค่าลดลงจากที่เริ่มต้นร้อยละ 29.5, 41.1, 42.6 และ 50.9 ของน้ำหนักมูลฝอยแห้ง ตามลำดับ และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะมีค่าเท่ากับ 0.007, 0.013, 0.031, 0.058 และ 0.058 ลิตรต่อกิโลกรัมของมวลของแข็งที่เผาไหม้ได้ที่หายไปต่อวันตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของการฝังกลบมูลฝอย โดยในช่วงระยะแรกของการฝังกลบอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะมีแนวโน้มของการเกิดก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นไปอย่างช้าๆ หลังจากการฝังกลบมูลฝอยได้อายุ 8 เดือน อัตราการเกิดก๊าซมีเทนก็มีค่าเพิ่มอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงสุดเมื่อถึง 2 ปี



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบในช่วงอายุการฝังกลบ 6 เดือนแรก

หลังจากนั้นทดลองทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยตลอดช่วงระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาทั้ง 11 เดือน พบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบที่จุดตรวจวัดที่ 2, 3, 4 และ 6 อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนมีค่าความสัมพันธ์กับอายุของการฝังกลบในลักษณะของสมการเส้นโค้ง S โดยสามารถอธิบายได้สมการทางคณิตศาสตร์

$$Y = e^{(a - b/t)} \quad (9)$$

โดยที่ Y = อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทน ($\text{g/m}^2/\text{d}$)

a = ค่าคงที่จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln Y$ กับ $1/t$

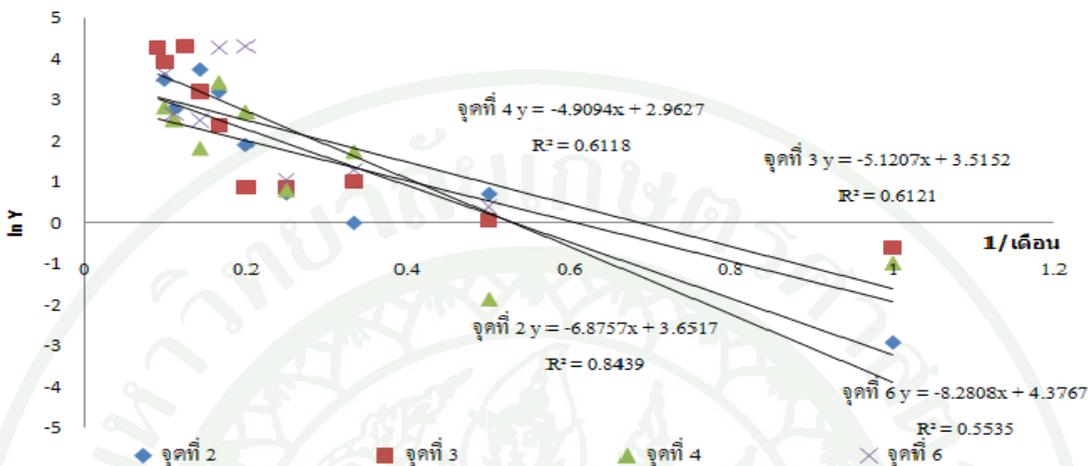
b = ค่าความชันที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln Y$ กับ $1/t$

t = อายุของการฝังกลบ (เดือน)

ทำการปรับสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาจากสมการเส้นโค้งเอส ให้กลายเป็นสมการเส้นตรงคือ $\ln Y = \ln a + bt$ จากผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและอายุของการฝังกลบตามสมการเส้นตรง พบว่าค่าของข้อมูลที่ทำตรวจวัดนั้นมีความสัมพันธ์ตามสมการโดยใช้รูปแบบสมการเส้นตรง สามารถนำมาใช้แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดออกมาเป็นดังภาพที่ 31 โดยพบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุของการฝังกลบกับอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบตามสมการดังกล่าวอยู่ระดับในเกณฑ์ที่พอใช้ถึงดี ($R^2 = 0.55-0.84$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ข้อมูลมีการกระจายตัวที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอ ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการฝังกลบมูลฝอยประกอบกับการศึกษาครั้งนี้ทำในพื้นที่ภาคสนามจึงมีปัจจัยอีกหลายตัวที่เข้ามามีอิทธิพลต่ออัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบ

ทั้งนี้ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลา 1 ปีแรก ที่มีแนวโน้มเป็นแบบเส้นโค้ง S สามารถอธิบายตามสมมติฐานที่ว่าในช่วงระยะเริ่มของระยะเวลาฝังกลบจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายมูลฝอยมีจำนวนที่น้อยประกอบกับในช่วงเริ่มต้นของการฝังกลบมูลฝอยจุลินทรีย์ต้องอาศัยระยะเวลาในการปรับสภาพการย่อยสลายมูลฝอยจากสภาวะของการใช้อากาศมาเป็นการย่อยสลายมูลฝอยแบบไร้อากาศและเมื่อเริ่มเข้าสู่สภาวะ Methanogen จุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศจะเริ่มมีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอย่างรวดเร็วทำให้

เกิดแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบเพิ่มขึ้นอย่างมากและอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจะมีแนวโน้มคงที่เมื่อจำนวนของจุลินทรีย์เริ่มคงที่และปริมาณของสารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายง่ายเริ่มมีค่าที่ลดลง



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบที่ช่วงอายุการฝังกลบตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

สรุปจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบกับระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอยมีลักษณะความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเส้นโค้ง S ทั้งนี้ในช่วงระยะเวลาของการฝังกลบมูลฝอย 6 เดือนแรก เนื่องจากไม่ปัจจัยเรื่องของการแพร่ระบาดของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบทำให้สามารถเห็นลักษณะของอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนชัดเจนว่าจะมีลักษณะเป็นแบบสมการเส้นโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential)

3.3. ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบกับปริมาณของน้ำฝน

จากข้อมูลสถิติของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ณ พื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบัง โดยมีข้อมูลค่าของปริมาณน้ำฝนตกลงมาตลอดช่วงระยะเวลาทั้งสิ้น 11 เดือน ที่ได้ทำการทดลอง แสดงภาพที่ 32 ซึ่งปริมาณของน้ำฝนเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ได้ทำการทดลอง เท่ากับ 86.7 มิลลิเมตร ในพื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบัง โดยที่ในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2552 ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาใน

พื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจน ช่วงเดือนพฤศจิกายน – มกราคม 2553 ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่มีค่าที่ค่อนข้างต่ำมาก และปริมาณของน้ำฝนจะเริ่มตกลงมามากขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ 2553 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงเดือนมิถุนายน 2553 ซึ่งปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบังมีค่ามากที่สุดที่เดือนตุลาคม 2552 วัดค่าปริมาณของน้ำฝนได้เท่ากับ 382.1 มิลลิเมตร และในเดือนธันวาคม 2552 เป็นเดือนที่ไม่มีฝนตกลงมาในพื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบัง

จากผลของการเปรียบเทียบอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยกับปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในบริเวณพื้นที่เทศบาลนครแหลมฉบัง พบว่าปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่กับอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ มีค่าความสัมพันธ์กันในระดับหนึ่ง โดยช่วงระยะเวลาระหว่างเดือน สิงหาคม – ตุลาคม 2552 เป็นช่วงเวลาที่ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนที่จุดต่างๆส่วนใหญ่ของพื้นที่หลุมฝังกลบจะมีค่าค่อนข้างต่ำยกเว้น ในเดือนตุลาคม 2552 ณ จุดที่ 5 ปริมาณของก๊าซมีเทนจะมีค่ามากขึ้น เท่ากับ 65.28 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน หลังจากเดือนตุลาคม 2552 ซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณของน้ำฝนตกลงมาสูงที่สุดในช่วงเวลาทำการทดลอง ก็พบว่าหลังจากนั้นเป็นระยะเวลาประมาณ 3 – 5 เดือน พบอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจะมีค่าของการแพร่ระบาดของก๊าซออกจากหลุมฝังกลบในแต่ละจุดนั้นจะมีค่าออกมาสูงที่สุด ซึ่งเป็นช่วงระหว่างเดือน มกราคม – มีนาคม 2553 จากภาพที่ 32 แสดงให้เห็นว่าส่วนอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบส่วนใหญ่จะมีค่าการแพร่ระบาดสูงที่สุด ณ เดือนกุมภาพันธ์หลังจากช่วงที่มีฝนตกลงมาในพื้นที่สูงสุดไปแล้วนาน 4 เดือน ยกเว้น จุดที่ 3 และ 6 โดยในจุดที่ 3 จะมีค่าอัตราการแพร่ระบาดของมีเทนออกจากหลุมฝังกลบสูงสุดในเดือน มีนาคม 2553 อยู่ที่ 74.98 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และในเดือนมกราคม 2553 อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนที่จุด 6 จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 74.96 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน หลังจากนั้นค่าอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบโดยเฉลี่ยจะมีค่าที่ค่อยๆเริ่มลดลงไปตามลำดับ

สรุปได้ว่าหลังจากสิ้นสุดฤดูฝนไปประมาณ 3 – 4 เดือน อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบจะมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยสิ้นสุดในช่วงของปลายฤดูฝนทำให้มูลฝอยมีความชื้นสูงซึ่งส่งผลดีกับการเกิดก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบและในช่วงที่ไม่มีฝนตกลงมาในพื้นที่หลุมฝังกลบปริมาณของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบก็มีค่าเฉลี่ยที่ลดต่ำลง

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ พิมลรัตน์ (2544) ได้ทดลองในหลุมฝังกลบมูลฝอยที่เทศบาลนครนครปฐม ด้วยวิธีการประเมินการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นดินกลบทับมูลฝอย ทำให้ทราบว่าอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่หลุมฝังกลบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยในฤดูร้อนมีอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 35.37 และ 31.68 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ รองลงมาคือ ฤดูหนาวมีค่าเท่ากับ 1.00 และ 0.79 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 0.0083 และ 0.0104 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ สุรัตน์ (2546) ที่ศึกษาจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครนครปฐมด้วยวิธีการ Close Flux Chamber ได้ผลว่าก๊าซมีเทนมีอัตราการแพร่ระบายสูงสุดในฤดูฝนมีค่า 23.47 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยฤดูร้อนมีการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.87 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะเรื่องปัจจัยเรื่องอายุของการฝังกลบมูลฝอยที่มีค่าแตกต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบและบึงจัยที่เข้ามา มีอิทธิพลต่อสภาพการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลาเริ่ม ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำเสนอสรุปผลการศึกษาในประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

1. ช่วงระยะเวลาเริ่มต้น 1 ปีแรกของการฝังกลบมูลฝอยอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน ออกจากหลุมฝังกลบมีสภาพของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนที่ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งพื้นที่หลุมฝังกลบ โดยผลของการตรวจวัดอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยของ เทศบาลนครแหลมฉบัง ทั้ง 8 จุด ในช่วง เดือน สิงหาคม – มิถุนายน 2553 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง ระหว่าง 0.02 – 225.28 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีค่าของอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนโดย เฉลี่ยอยู่ที่ 31.74 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการที่จะสุ่ม ตัวอย่างจุดที่จะเลือกมาเป็นตัวแทนการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนทั้งหมดของหลุมฝังกลบ

2. อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบในช่วงระยะเริ่มต้นของการฝังกลบ มูลฝอย มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุของการฝังกลบ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยสมการทาง คณิตศาสตร์แบบเส้นโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียลในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรกของการฝังกลบมูลฝอย ตามสมการ $Y = ae^{bt}$ และมีลักษณะของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบเป็นเส้น โค้งแบบ S ตลอดช่วงระยะเวลา 11 เดือนของการศึกษาตรวจวัดตามสมการ $Y = e^{(a-bt)}$

3. พบว่ามีอยู่ 2 บึงจัยที่เข้ามา มีอิทธิพลต่อสภาพการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่ หลุมฝังกลบในช่วงระยะเริ่มต้นของการฝังกลบ คือ การรบกวนของการแพร่อากาศเข้าสู่พื้นที่ของ การฝังกลบและปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่หลุมฝังกลบ โดยบึงจัยเรื่องการแพร่ของ อากาศเข้าสู่ฝังกลบมูลฝอยนั้นส่งผลกระทบต่อสภาพการของแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝัง กลบทั้งนี้ จากผลของการศึกษาทำให้ทราบว่าหลังจากที่มีการฝังกลบมูลฝอยเป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน อากาศจะเริ่มมีแพร่ของอากาศเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบส่วนบึงจัยเรื่องของปริมาณของน้ำฝน เป็นบึงจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการมีเทนออกจากหลุมฝังกลบในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น ซึ่งพบว่า หลังจากสิ้นสุดฤดูฝนไปประมาณ 3 – 4 เดือน อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบ

จะมีค่าสูงที่สุดและในช่วงที่ไม่มีฝนตกลงมาในพื้นที่หลุมฝังกลบปริมาณของการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบก็มีค่าเฉลี่ยที่ลดต่ำลงทั้งนี้ น้ำฝนที่มาจากพื้นที่หลุมฝังกลบมีความชื้นสูงซึ่งส่งผลดีกับสภาพของการเกิดก๊าซมีเทน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการประเมินการแพร่ระบายก๊าซด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแพร่ระบายก๊าซที่ทำการตรวจวัดได้ในภาคสนาม
2. ควรทำการวัดระดับน้ำที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอย และปริมาณของน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำชะมูลฝอยกับอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนที่ออกมาจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอย
3. ควรทำการวิเคราะห์ลักษณะของการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงที่มีการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยที่หลายระดับชั้น
4. ควรทำการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของฤดูกาลว่ามีฝนต่อสภาพของการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น โดยทำการศึกษาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบในช่วงที่ยุติการดำเนินการฝังกลบในช่วงฤดูแล้ง เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบในช่วงที่ยุติการดำเนินการฝังกลบในช่วงฤดูฝน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. **เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2544. **โครงการการศึกษา แนวทางการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบมูลฝอย**, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ (ก). 2547 **คู่มือปฏิบัติการในการดูแลและเดินระบบฝังกลบขยะมูลฝอย** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ (ข). 2547 **รายงานโครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชน ของเทศบาลทั่วประเทศ** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ 2552. **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี2551** กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. **ข้อมูลอุณหภูมि ปริมาณน้ำฝนประจำปี 2552 -2553**

พิมพ์รัตน์ พุทธิมิลินประทีป. 2544. **อิทธิพลของฤดูกาลต่อองค์ประกอบและอัตราการแพร่ระบาดของ ก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชร หอวิจิตร. 2538. **การจัดการมูลฝอย**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น 244.

วิจารณ์ อินทรกำแหง. 2543. **การประเมินอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครนครปฐม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมใจ กาญจนวงศ์ และเสนีย์ กาญจนวงศ์ . **การเปรียบเทียบลักษณะน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากการ ฝังกลบมูลฝอยในถังจำลองด้วยวิธีไร้ออกซิเจนและกึ่งออกซิเจน**. เอกสารประกอบการ

สัมมนาทางวิชาการ เอ็นเทคโนโลยี'96, สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
12-13 พฤษภาคม 2539.

สุรัตน์ โกวานิชย์. 2546. การศึกษาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากชั้นดินกลบทับมูลฝอย
ชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alvarez M. and Vitores – Lozano L.1986. **Anaerobic digestion of the organic fraction of lime
sludge.** Solar Energy. 37(6), 431 – 435.

APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Method for the Examination of Water and
Wastewater 20th.** ed. APHA Inc., New York.

Barlaz M. A., Milke M. W. and Ham R. K. 1987. **Gas production parameters in sanitary
landfill simulators.** 5(1), 27 – 39.

Bogner. J. and Scot P. 1995. **Landfill Methane Emission: Guidance for Field Measurement.** 119
– 126.

Borjesson, G. and B.H. Svensson. 1997. **Seasonal and diurnal methane emissions from a
landfill and their regulation by methane oxidation.** Waste Management &
Research15: 33-54.

Buivid M. G., Wise D. L., Rader A. M., McCarty P. L and Owen W. F. 1980. **Feasibility of a
peat biogasification process.** Resource Recovery and Conservation. 5(2), 117 – 138.

Bvrenyi, E. and Gould, R. 1989. **Methane Recovery from Landfill Yearbook.** Directory &
Guide, Governmental Advisory Associates, Inc., New York.

Cambell, D.J.V. 1982 **Attenuation of Potential Pollutants in Landfill Leachate by Lower
Greenland.** Waste Management & Research. 1:31-32.

- Chiemchaisri C., Chiemchaisri W., Kumar S. and Hettiaratchi J. P. A. 2007. **Solid Waste Characteristics and their relationship to gas production in tropical landfill.** Environ Monit Assess 135. 41-48.
- Christensen, T.H. and Kjeldsen, P. 1989. **Basic biochemical processes in landfills, in Sanitary Landfilling processes, Technology and Environmental Impact** (eds T.H. Christensen, R. Cossu & R. Stegmann), Academic Press, London, UK, 29-49.
- Christensen, T.H., R.Cossu and R. Stegmann. 1992. **Landfilling of Waste:Leachate.** Elsevier Science Publ. Ltd., England. 520.
- Christophersen, M., P. Kjeldsen, H. Holst. And J. Chanton. 2001. **Lateral gas transport in soil adjacent to an old landfill: factors governing emissions and methane oxidation.** Waste Management & Research 19: 1119-1135.
- Dewalle F.B. and Chian E.S.K. 1978. **Gas Production from Solid Waste in Landfills.** J. of Environmental Eng. Div., Proceeding of ASCE, Vol.104, No.EE3, 415-432.
- Dick R. I. and Bakti K. .A. N. 1992. **A model for a nitrifying suspended-growth reactor incorporating intraparticle diffusional limitation.** Water Research. 26(12), 1681 – 1690.
- Ehrig H.-j. **Treatment of sanitary landfill leachate: Biological treatment.** 1984. Waste Management & Research. 2(2), 131 - 152.
- Farquhar GJ. 1989. **Leachate Production and Characterization.** J. Civil. Engineering. 16:317-325.
- Gendebien, A, Pawels, M., Ledrut-Damanet, M. J., Willumsen, H-C., Butson, J., Fabey, R., Ferrero, G-L. and Nyns, E.-J. 1992. **Landfill Gas. From Environment to Energy,** Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Ham R.K. and Barlatz M.A. 1989. **Measurement and production of landfill gas quality and quantity, in Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact**, Academic Press, London, 155-166.

Hettiaratchi, J.P.A. and C. Hansen. 1996 **Evaluation of a closed Flux Chamber method to measure landfill gas**. Calgary, Canada.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. **Climate Change. The Supplementary to the IPCC**. Scientific Assessment Cambridge University Press, UK. 157 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007 **Climate Change. The Supplementary to the IPCC**. Scientific Assessment Cambridge University Press, UK.

Karnchanawong, S., Ikeguchi, T., Karnchanawong, S. and Koottatep, S., **Lysimeter Study to Investigate Production of Gas and Leachate from Waste Landfill in Tropical Country**. Proceeding of the 4th Symposium on Environmental Technology and Management : Ching Mai, June 8-9, 1992, 52-56.

Kinman, N. R., Nutini D. L., Walsh J J., Vogt W. G., Stamm J. and Rickabaugh J. 1987. **Gas enhancement techniques in landfill simulators**. Waste Management & Research, 5(1) , 13-25.

Klink, R. E. ,Ham, R. K. **Effects of moisture movement on methane production in solid waste landfill samples**. Resources and Conservation. 8(1), 29 – 41.

Matthias, A.D., A.M. Blackmer. And J.M. Bremner. 1980. **A simple Chamber Technique for field measurement of emissions of nitrous oxide from soils**. 9: 251-256.

- Maurice, C. and A. Lagerkvist. 1998. Landfill gas properties and effects on green plants. **Division of Landfill Science and Technology**, Department of Environmental Engineering Lulea 1998.
- Maurice, C., A. Bergman, H. Ecke and A. Lagerkvist. 1995. Vegetation as a biological indicator for landfill gas emission : Initial Investigation. Proceedings from Sardinia'95 : **Fifth International Landfill Symposium**. 2-6 Oct. 1995, St Margherita di Pula, Cagliari, Italy, Vol. III: 481-494.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment fundamentals-part one. **Chemistry and Microbiology**. Public Works 95: 107-112, 11 : 123-126.
- Merz, R.C., Stone, R. 1970. **United States Special Studies of a Sanitary Landfill**. Environmental Protection Agency, p. 51.
- Nickolas J Themelis and Priscilla A. Ulloa. 2007. **Methane generation in landfills**. Renewable Energy 32. 1243-1257.
- Park J.-W. and Shin H. C. 2001. **Surface emission of landfill gas from solid waste landfill**. Elsevier Science Publ. Atmospheric Environment 35. 3445-3451.
- Price, E., & Cheremisinoff, P.-t. (1981). **Biogas Production and Utilization**. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers.
- Richard, K.-M. 1989. **Landfill gas: working with Gaia**. **Biodeterioration Abstracts**, 3(4), 317-331 p.; and additions (1990) **Presented at the Methane Emissions Workshop**, Washington, March 1990.
- Richards, G.-E. and Alston, Y.-R. 1990. **Proceedings of International Conference Landfill Gas: Energy and Environmental '90**, 16-19 October, Bournemouth, England

- Richards, D. R. , Cooper, D. C. and Walker, B. 1992. Flux chamber design and operation for the measurement of municipal solid waste landfill gas. Journal Air & Water Management Association, 42, 1067 – 1070.
- Stegmann, R. and Spendlin, H. –H. 1986. **Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary landfills.** Water Pollution Research Journal Canada, 21(4), 572.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. **Intergrated Solid Waste Management, Engineering Principal and Management Issue.** McGraw Hill, Inc., New York. 87.
- Ullas H., Chang T. C. and Yang S. S. 2003. **Methane and Carbon dioxide emission from Shan-Chu landfill site in northern Taiwan.** Chemosphere 52.
- USEPA. **International analyses of methane emissions;**2002. Download จาก <http://www.epa.gov/methane/intlayses.html> 17 August 2009.
- Willumsen H. C. . 1996. **Actual Landfill Gas Yields, Landfilling of Waste: Biogas.** Published in 1996 by E & FN Spon, London. 294-295.
- Wolffson C. 1985. Auswirkungen des Deponiebetriebes auf Sicker wasserbelastung - Messungen im Labormaßstab (**Effects of the Landfill Operation Technique on Leachate Quality Results from Laboratory-Scale Experiments**).
- Zehnder A. J. B., Huser B. A., Brock T. D. and Wuhrmann K.1982. **Characterization of an acetate-decarboxylating, non-hydrogen-oxidizing methane bacterium.** Arch. Microbiol. 124:1-11.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ภาพอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซและสถานที่ทำการทดลอง



ภาพผนวกที่ ก1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซและหลอดเก็บตัวอย่างก๊าซ



ภาพผนวกที่ ก2 Close Flux Chamber



ภาพผนวกที่ ก3 การวาง Close Flux Chamber บนพื้นดินกลบทับ



ภาพผนวกที่ ก4 พื้นที่หลุมฝังกลบก่อนสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอย



ภาพผนวกที่ ก5 พื้นที่หลุมฝังกลบหลังสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอยในช่วงฤดูฝน



ภาพผนวกที่ ก6 พื้นที่หลุมฝังกลบหลังสิ้นสุดการฝังกลบมูลฝอยในช่วงหลังฤดูฝน



ภาพผนวกที่ ก7 ช่วงอายุการฝังกลบ 2 เดือน ของจุดตรวจวัดวัดก๊าซที่ 7



ภาพผนวกที่ ก8 การทำการขุดผิวดินกลับทับชั้นบนสุดของจุดตรวจวัดวัดก๊าซที่ 7



ภาพผนวกที่ ก9 ช่วงอายุการฝังกลบ 5 เดือน ของจุดตรวจวัดวัดก๊าซที่ 7



ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ วิธีการคำนวณอัตราการแพร่ระบายก๊าซด้วยวิธี Close Flux Chamber และตารางค่าดัชนีคุณลักษณะทั่วไปของอากาศ

1. การสุ่มตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวของมูลฝอย

1.1 การสุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากมูลฝอยมีสิ่งของต่างๆหลายชนิด ซึ่งไม่ได้ปะปนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างของมูลฝอยจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยมีลักษณะใกล้เคียงคล้ายกันหมด เพื่อที่จะสามารถใช้เป็นตัวแทนของมูลฝอยที่นำมาวิเคราะห์จากหลุมฝังกลบมูลฝอยทั้งหมด โดยการทำการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยจากกองมูลฝอยที่ได้ผ่านคัดแยกมูลฝอยจากคนขายของเก่าไปแล้ว จากนั้นนำมูลฝอยที่ได้มาที่ทดสอบความหนาแน่นเสร็จแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันมากที่สุดแล้วทำการแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) เลือกตัวอย่างมูลฝอย 2 ส่วน ที่กองอยู่ตรงข้ามคลุกเคล้าให้เข้ากันเพื่อให้องค์ประกอบของมูลฝอยกระจายตัวอย่างทั่วถึง ส่วนที่เหลือแยกออกมาเพื่อไปทิ้งทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนได้มูลฝอยน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม เพื่อนำมูลฝอยที่ได้นั้นไปวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะและองค์ประกอบที่อยู่ในมูลฝอยต่อไป

1.2 องค์ประกอบของมูลฝอย (Composition)

1. พลาสติก (Plastics)
2. เศษอาหาร (Garbage)
3. ไม้และเศษไม้ (Wood)
4. กระดาษ (Paper)
5. โฟม (Foam)
6. เศษผ้า (Clothes)
7. ยาง (Rubber)
8. โลหะ (Metal)
9. แก้ว (Glass)
10. อื่นๆ (Other)

อุปกรณ์

1. พลาสติกรองมูลฝอย

2. ถุงมือ
3. หน้ากาก
4. ภาชนะใส่มูลฝอย
5. คราซิ่ง

วิธีการ

นำตัวอย่างมูลฝอยมาแยกองค์ประกอบมูลฝอยตามประเภทต่างๆที่กำหนดไว้แล้วชั่งน้ำหนักมูลฝอยในแต่ละประเภทนั้นๆ

การคำนวณองค์ประกอบมูลฝอย คำนวณโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$C = (W_1 * 100) / W_2$$

C = ร้อยละขององค์ประกอบของมูลฝอยสด

W_1 = น้ำหนักมูลฝอยที่คัดแยกในแต่ละประเภท

W_2 = น้ำหนักมูลฝอยที่คัดแยกทั้งหมด

1.3 ความหนาแน่นปกติ (Bulk Density)

ความหนาแน่นปกติ คือ ค่าความหนาแน่นของมูลฝอยในภาชนะเก็บ ซึ่งปกติจะมีการอัดให้แน่นเล็กน้อยเท่านั้น

อุปกรณ์

1. ภาชนะตวงมูลฝอยที่ทราบปริมาณความจุ
2. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 60 กิโลกรัม
3. อุปกรณ์สำหรับคลุกเคล้ามูลฝอย เช่น จอบ พลั่ว เป็นต้น

วิธีการ

นำมูลฝอยสดที่ทำการสุ่มตัวอย่างแล้วมาตวงวัดด้วยภาชนะตวงวัดมูลฝอยยกภาชนะตวงมูลฝอยสูงจากพื้นประมาณ 30 ซม. แล้วปล่อยลงกระทบบพื้น 3 ครั้ง หากปริมาณของมูล

ฝอยที่ได้ตรวจสอบค่าต่ำกว่าขอบภาชนะดวงวัดให้เติมมูลฝอยเพิ่มลงไปจนถึงขอบภาชนะ นำภาชนะดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่น ทดลองหาค่าความหนาแน่นหลายๆครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อหาค่าความหนาแน่นปกติ

1.4 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile Solids) และปริมาณเถ้า (Ash Content)

ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ คือ ส่วนประกอบของมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้
ปริมาณเถ้า คือ ส่วนของมูลฝอยที่สามารถที่เหลือจากการเผาไหม้

อุปกรณ์

1. ตู้อบ (Hot Air Oven)
2. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
3. เครื่องปั่นมูลฝอย
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. ถ้วยกระเบื้อง
6. Muffle Furnace

วิธีการ

นำมูลฝอยตัวอย่างที่อบแห้งสนิทมาคั่วให้ละเอียดจนมีขนาด 1.0 มิลลิเมตร นำมูลฝอยมาอบนานประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในตู้อบมูลฝอย จากนั้นนำมูลฝอยดังกล่าวมาใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปชั่งน้ำหนักรวมอีกครั้งหนึ่งก่อนเผาใน Muffle Furnace ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นแล้วนำออกมาไว้ใน Desiccator ที่เย็นไว้ใน Desiccator ประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง นำถ้วยกระเบื้องมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

การคำนวณ

$$V = [(W_1 - W_2) * 100] / W_1$$

V = ร้อยละของปริมาณสารที่เผาไหม้ได้

W_1 = น้ำหนักมูลฝอยแห้งก่อนนำมาเผา

W_2 = น้ำหนักมูลฝอยที่เหลือจากการเผา

$$\begin{aligned} \text{Ash} &= 100 - V \\ \text{Ash} &= \text{ร้อยละของปริมาณถ้ำ} \\ V &= \text{ร้อยละของปริมาณสารที่เผาไหม้ได้} \end{aligned}$$

1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

เป็นวิธีการวัดหาปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม แล้วหาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Turbidimetric โดยการวัดค่าความขุ่นผ่าน Ammonium sulphate ((NH₄)₂SO₄) ที่เกิดขึ้น

สารเคมี

1. Digestion mixture : ผสม conc.H₂SO₄ 210 มิลลิลิตร กับ Hydrogen Peroxide (H₂O₂) 30% 175 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเติม Selenium powder 0.21 กรัม Lithium sulphate 7.0 กรัม ลงไปคนให้เข้ากัน
2. N1 : ผสม Sodium salicylate 17.0 กรัม , Sodium citrate 12.5 กรัม และ Sodium tartrate 12.5 กรัม ลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนได้ 300 มิลลิลิตร ใส่ Sodium nitroprusside 0.6 กรัมแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร
3. N2 : ใส่ Sodium hydroxide 15.0 กรัม ลงในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนถึง 375 มิลลิลิตร แล้วผสม Sodium hypochlorite solution 5 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึง 500 มิลลิลิตร
4. Standards ammonium 100 ppm : ละลาย (NH₄)₂SO₄ ที่ผ่านการอบแห้ง 4.714 กรัม ลงในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร แล้วปิเปตละลายที่ได้มา 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นจากนั้นทำการปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร
5. ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
6. ขวดทรงชมพูขนาด 125 มิลลิลิตร
7. กระจกปิด
8. หลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร
9. ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
10. Spectrophotometer
11. Block digester
12. Fume hood
11. Micropipette

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 0.2 +/- 0.001 กรัม ลงในขวดทรงกลมฟุ้งขนาด 125 มิลลิลิตร เติม Digestion mixture ลงไป 4.4 มิลลิลิตร แล้วนำไป Digester บน Block digester ภายใต้ Fume hood ควบคุมอุณหภูมิเครื่อง Block digester ให้อยู่ที่ 360 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าสารละลายให้เข้ากันแล้วนำมากรองเก็บสารละลายที่กรองได้ในขวดพลาสติกปิดฝาขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายมูลฝอยตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอดทดลอง 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย N 1 ลงไปรอจนได้เวลานาน 5 นาที ค่อยเติมสารละลาย N2 ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวัดความขุ่นที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ค่าความยาวคลื่นที่ 655 นาโนเมตร ภายใน 20 นาที

3. ทำ Standard curve ของ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm โดยการปิเปต Standards ammonium 100 ppm จำนวน 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติม Digestion mixture ที่ทำการการย่อยแล้วด้วยเครื่องเจลดาลท์ แล้วปรับปริมาตรจนได้ 100 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมสารละลาย N1 ลงไป 5 มิลลิลิตรรอจนได้เวลา 15 นาทีจึงค่อยเติมสารละลาย N2 ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ค่าความยาวคลื่นที่ 655 นาโนเมตร ภายใน 20 นาที

$$\%N = \frac{[(\text{ppm. N ที่อ่านได้จาก Standard curve}) * \text{ปริมาณสารละลายจากการย่อยสลายมูลฝอยตัวอย่าง (ใช้ 100 มิลลิลิตร)}]}{\{(\text{ค่าความขุ่นที่ได้จากการทำ Standard curve}) * \text{จำนวนน้ำหนักของตัวอย่างมูลฝอย (ใช้ 0.2 กรัม)}\}} / 10,000$$

1.6 การหาปริมาณซัลเฟต

เป็นวิธีการหาปริมาณซัลเฟตในรูปของซัลเฟต แล้วหาปริมาณซัลเฟตโดยวิธี Turbidimetric method โดยการวัดค่าความขุ่นผ่าน Barium sulfate (BaSO_4) ที่เกิดขึ้น

สารเคมีและอุปกรณ์

1. Acid mixture : conc. HNO_3 และผสม conc. HClO_4 ในอัตราส่วน 5:2
2. Barium chloride crystal ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

3. Gum acacia solution 0.25% : ชั่ง Gum acacia 2.5 กรัม ละลายในน้ำปรับปริมาตร เป็น 1 ลิตร

4. Standard Sulfur 100 ppm : ละลาย K_2SO_4 ที่อบแห้งแล้ว 0.5434 กรัม ในน้ำทำให้ เป็นกรดด้วยการเติม HCl แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5. Standard Sulfur 50 ppm : เจือจาง Standard Sulfur 100 ppm จำนวน 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

8. หลอดทดลองขนาด 25 และ 75 มิลลิลิตร

9. กระดาษกรอง Whatman No.1

10. ปิเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร

11. Spectrophotometer

12. Block digester

13. Fume hood

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างจำนวน 0.4 กรัม ลงในหลอดขนาด 75 มิลลิลิตร เติม Acid mixture ลงไป 5 มิลลิลิตร แล้วนำไป Digester บน Block digester ภายใต้ Fume hood ควบคุมอุณหภูมิเครื่อง Block digester ให้อยู่ที่ 180 – 200 องศาเซลเซียส ย่อยสลายตัวอย่างจนได้สารละลายใสจึงยกลงมา ทิ้งไว้ให้เย็นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าสารละลายให้เข้ากันแล้วนำมากรองเก็บ สารละลายที่กรองได้ในขวดพลาสติกปิดฝาขนาด 100 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายมูลฝอยตัวอย่าง 1 – 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวด วัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติม $BaCl_2$ 0.5 กรัม เขย่า 1 นาที เติม Gum acacia solution 0.25% 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นเขย่า 1 นาที และเริ่มจับเวลาวัดความขุ่นที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ค่าความยาวคลื่นที่ 450 นาโนเมตร ภายใน 20 นาที

3. ทำ Standard curve ของ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm โดยการปิเปต Standard Sulfur 50 ppm จำนวน 0, 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 และ 4.0 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติม $BaCl_2$ 0.5 กรัมเขย่า 1 นาที เติม Gum acacia solution 0.25% 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร

เป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นเขย่า 1 นาที และเริ่มจับเวลาวัดความขุ่นที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ค่าความยาวคลื่นที่ 450 นาโนเมตร ภายใน 20 นาที แล้วนำมาคำนวณหาค่า ซัลเฟอร์ในตัวอย่างจากสูตร

$$\%S = \frac{\text{(ppm. S ที่อ่านได้จาก Standard curve)}}{(10^6 * \text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)} * \text{ปริมาตรสารละลายจากการย่อยสลายมูลฝอยตัวอย่าง (มิลลิลิตร)})}$$

1.7 ค่าปริมาณไฮโดรเจน

ปริมาณของไฮโดรเจนในมูลฝอยหาได้จากสูตร

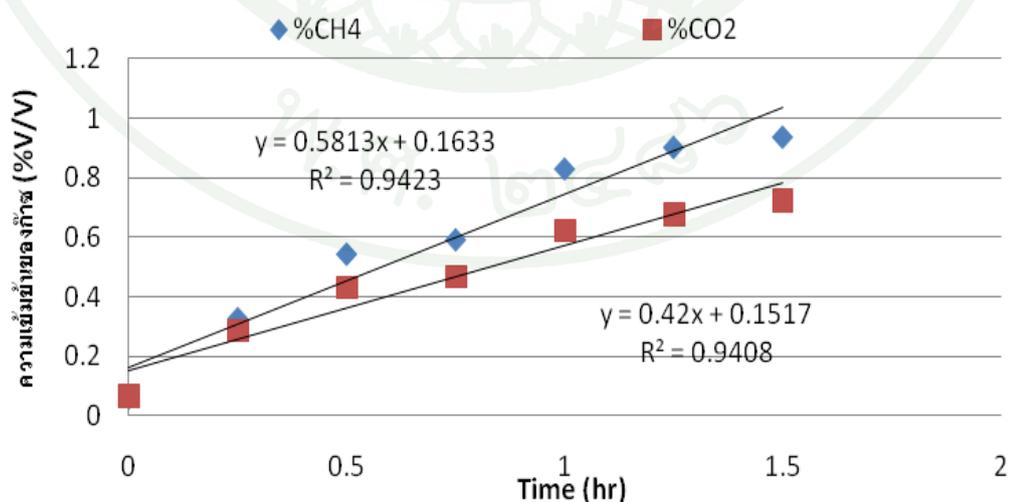
$$\% \text{ไฮโดรเจน} = \frac{\% \text{ของแฉิ่งระเหย}}{15}$$

2. การวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นดินฝังกลบทับมูลฝอย ด้วยวิธี Close Flux Chamber

การตรวจวัดก๊าซที่ออกจากหลุมฝังกลบโดยการเก็บตัวอย่างก๊าซที่อยู่ภายใน Chamber นำค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ได้ในช่วงเวลาต่างๆ มาทำกราฟหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราแพร่ระบายก๊าซ ออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอยกับเวลาใช้สมการที่ (1) จากนั้นทำเส้น Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของก๊าซกับระยะเวลา

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการวัดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วันที่ 23 มกราคม 2553

Point NO.	time (hr)	Temp. ($^{\circ}$ C)	Composition (%V/V)	
			%CH ₄	%CO ₂
1	0	31	0.0605	0.0645
	0.25	34	0.3272	0.2858
	0.50	36	0.5441	0.4308
	0.75	38	0.5924	0.4676
	1.00	33	0.8305	0.622
	1.25	39	0.9031	0.6749
	1.50	44	0.9375	0.7213



ภาพผนวกที่ ข1 เส้น Regression ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับเวลามีค่า R^2 0.85

$$F = \frac{\rho v \Delta C}{A \Delta t}$$

ค่าอุณหภูมิภายใน Chamber มีค่าเฉลี่ย 36.4°C

ความหนาแน่นของอากาศ (Air Density) ที่อุณหภูมิ 36.4°C $= 1.14 \text{ kg/m}^3$

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซมีเทน (Specific gravity) $= 0.55$

ρ_{CH_4} $= 1.14 \times 0.55$

$= 0.627 \text{ kg/m}^3$

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Specific gravity) $= 1.5$

ρ_{CO_2} $= 1.14 \times 1.5$

$= 1.710 \text{ kg/m}^3$

$V =$ ปริมาตรของ Chamber $= 0.049\text{m}^3$

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของ Chamber ที่ปิดล้อม 0.188 m^2

$\Delta C =$ ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง, % (V/V)

$t =$ ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ, (Hour)

$\Delta C / \Delta t =$ ความชันของเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซ
กับเวลา

$F_{\text{CH}_4} = [(0.627 \text{ kg/m}^3) (0.049 \text{ m}^3) (0.5813 \text{ \%}/\text{hr}) (1000/100)] / (0.188 \text{ m}^2)$

$= 0.95 \text{ g/m}^2/\text{hr}$

$= 22.80 \text{ g/m}^2/\text{d}$

$F_{\text{CO}_2} = [(1.710 \text{ kg/m}^3) (0.049 \text{ m}^3) (0.42\%/hr) (1000/100)] / (0.188 \text{ m}^2)$

$= 1.87 \text{ g/m}^2/\text{hr}$

$= 44.88 \text{ g/m}^2/\text{d}$

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าดัชนีคุณลักษณะทั่วไปของอากาศ

Temperature	Density	Specific heat Capacity	Thermal conductivity	Kinematic viscosity	Expansion coefficient
- t - (⁰ C)	- ρ - (kg/m ³)	- C _p - (kj/kg K)	- l - (W/m K)	- V - (m ² /s) X 10	- b - (1/K) X 10 ⁻³
-150	2.793	1.026	0.0116	3.08	8.21
-100	1.980	1.009	0.0160	5.95	5.82
-50	1.534	1.005	0.0204	9.55	4.51
0	1.293	1.005	0.0243	13.30	3.67
20	1.205	1.005	0.0257	15.11	3.43
40	1.127	1.005	0.0271	16.97	3.20
60	1.067	1.009	0.0285	18.90	3.00
80	1.000	1.009	0.0299	20.94	2.83
100	0.946	1.009	0.0314	23.06	2.68
120	0.898	1.013	0.0328	25.23	2.55
140	0.854	1.013	0.0343	27.55	2.43
160	0.815	1.017	0.0358	29.85	2.32
180	0.779	1.022	0.0372	32.29	2.21
200	0.746	1.026	0.0386	34.63	2.11
250	0.675	1.034	0.0421	41.17	1.91
300	0.616	1.047	0.0454	47.85	1.75
350	0.566	1.055	0.0485	55.05	1.61
400	0.524	1.068	0.0515	62.53	1.49



ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวัดก๊าซ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และค่าความชื้นดินกลบทับในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชน
ของศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลนครแหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 18 กรกฎาคม 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	44	0	N.D.	0.1214	6	38	0	0.0389	0.1907
	45	15	1.4348	1.2932		37	15	0.0461	0.2699
	45	30	2.0733	2.0036		42	30	0.0493	0.4401
	44	45	4.1148	3.9404		44	45	0.0468	0.5027
	42.5	60	4.7628	4.6521		44	60	0.0541	0.5024
	40	90	6.0171	5.9431		45	90	0.0575	0.6331
	38	120	7.2663	7.1974		45	120	0.0737	0.6893
2	52	0	0.5253	0.6906	7	31	0	0.0671	0.1613
	54	15	0.2516	0.1197		33	15	0.2844	0.3940
	52.5	30	0.076	0.1403		36	30	0.2915	0.3996
	53	45	0.0818	0.2172		36	45	0.2814	0.3750
	46	60	0.0825	0.2100		36	60	0.1993	0.3295
	47	90	0.0808	0.1456		37	90	0.2058	0.2984
	48	120	0.0938	0.1899		39	120	0.2098	0.3620
3	53	0	0.0737	0.1258	8	31	0	0.0686	0.2072
	53	15	0.3451	0.6401		33	15	0.3076	0.5177
	54	30	0.5715	1.0620		36	30	0.4736	0.7764
	52	45	0.7162	1.3258		36	45	0.5974	1.0071
	52	60	1.6581	2.2323		36	60	0.7119	1.1509
	48	90	1.6859	3.1037		37	90	0.8058	1.2331
	53	120	0.0737	0.1258		39	120	0.8656	1.3939
4	41	0	0.0495	0.0999					
	46	15	0.0533	0.1095					
	46	30	0.0592	0.1569					
	45	45	0.066	0.1608					
	48	60	0.0716	0.1562					
	49	90	0.0746	0.1571					
	41	120	0.0495	0.0999					

หมายเหตุ: N.D. ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางผนวกที่ ค2 ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 22 สิงหาคม 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	35	0	0.0305	0.1788	6	47	0	0.0304	0.0832
	42	15	0.0326	0.7197		49.2	15	0.0360	0.0873
	42.5	30	0.0370	1.1383		49	30	0.0394	0.0917
	43	45	0.0362	1.3274		51	45	0.0432	0.0969
	46	60	0.0408	1.0654		51	60	0.0474	0.0982
	45	90	0.0425	0.9517		52	90	0.0507	0.0999
	45	120	0.0468	0.9112		53	120	0.0556	0.0928
3	37	0	0.0281	0.1662	7	48	0	0.0304	0.0832
	40.5	15	0.0313	0.1106		51	15	0.0360	0.0873
	41	30	0.0384	0.1314		53	30	0.0394	0.0917
	42	45	0.0479	0.1368		55	45	0.0432	0.0969
	43	60	0.0444	0.1735		54	60	0.0474	0.0982
	47	90	0.0525	0.2109		53	90	0.0507	0.0999
	47	120	N.D.	N.D.		48	120	0.0556	0.0928
4	40.5	0	0.0288	0.0755	8	48	0	0.0704	0.0954
	42.5	15	0.0308	0.0806		51	15	0.0775	0.1497
	43	30	0.0320	0.0814		53	30	0.0829	0.2572
	47	45	0.0349	0.0815		55	45	0.0884	0.3100
	47	60	0.0396	0.0810		54	60	0.1145	0.3708
	45	90	0.0439	0.0820		53	90	0.6789	0.4987
	45	120	0.0425	0.0859		48	120	0.1741	0.6594
5	42	0	0.0792	0.0931					
	43	15	0.1070	0.1530					
	43	30	0.1087	0.1462					
	46	45	0.0958	0.1349					
	46	60	0.1252	0.1609					
	46	90	0.1187	0.1660					
	45	120	0.1441	0.1978					

หมายเหตุ: N.D. ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางผนวกที่ ๓ ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 23 กันยายน 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	31	0	0.0271	0.0483	6	33	0	0.0304	0.0502
	31	15	0.0275	0.0487		34	15	0.0341	0.0453
	32	30	0.0279	0.0498		43	30	0.0337	0.0496
	32	45	0.0284	0.0608		38	45	0.0433	0.0512
	32	60	0.0287	0.0680		36	60	0.0468	0.0575
	35	90	0.0292	0.0708		36	90	0.0484	0.0610
	36	120	0.0298	0.0802		36	120	0.0504	0.0619
2	31	0	0.0305	0.0492	7	37	0	0.0261	0.0479
	30	15	0.0327	0.0555		41	15	0.0263	0.0498
	33	30	0.0339	0.0545		43	30	0.0262	0.0763
	33	45	0.0341	0.0516		44	45	0.0260	0.0529
	34	60	0.0357	0.0560		44	60	0.0264	0.0611
	33	90	0.0387	0.0603		38	90	0.0266	0.0661
	33	120	0.0411	0.0698		36	120	0.0269	0.0925
3	31	0	0.0332	0.0498	8	39	0	0.0280	0.0500
	35	15	0.0384	0.0492		41	15	0.0360	0.0503
	36	30	0.0455	0.0516		42	30	0.0570	0.0506
	38	45	0.0541	0.0534		40	45	0.0500	0.0483
	40	60	0.0533	0.0541		37	60	0.0584	0.0541
	38	90	0.0759	0.0698		36	90	0.0597	0.0715
	38	120	0.0603	0.0603		34	120	0.0666	0.0925
4	37	0	0.0302	0.0519					
	42	15	0.0331	0.0503					
	43	30	0.0364	0.0564					
	44	45	0.0408	0.0636					
	45	60	0.0382	0.0577					
	46	90	0.0466	0.0808					
	46	120	0.0498	0.0788					

ตารางผนวกที่ ค4 ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หุ้ลมฟ้งกลบมูลฝอยซุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 23 ตุลาคม 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	35.6	0	0.0259	0.0746	5	29	0	0.1553	0.2416
	38.2	15	0.0259	0.1006		33	15	0.7655	0.6915
	40.3	30	0.0259	0.1180		30	30	2.1954	1.7596
	40.5	45	0.0264	0.1366		38	45	2.2655	1.8390
	42	60	0.0264	0.1946		38	60	1.9194	1.5516
	42.2	90	0.0265	0.2978		37	90	3.3250	2.5798
	44	120	0.0267	0.3152		38	120	3.5756	2.7745
2	35.4	0	0.0707	0.0873	6	29.5	0	0.0321	0.1239
	38.2	15	0.0949	0.1689		32	15	0.0461	0.1298
	40.2	30	0.1082	0.2186		42	30	0.0517	0.1485
	40.1	45	0.1183	0.1761		41	45	0.0664	0.1465
	42	60	0.1407	0.2250		41	60	0.0750	0.1621
	43.1	90	0.1562	0.2483		45	90	0.0825	0.1709
	44	120	0.1797	0.2633		45	120	0.1166	0.1975
3	41	0	0.0784	0.0904	8	36	0	0.0303	0.0936
	47	15	0.0982	0.0980		45	15	0.0408	0.1110
	49	30	0.0865	0.1019		52	30	0.0602	0.1373
	45	45	0.1053	0.1351		48	45	0.0504	0.1447
	45	60	0.1212	0.1849		48	60	0.0669	0.1851
	42	90	0.1624	0.2020		48	90	0.0710	0.1976
	47	120	0.2583	0.3254		43	120	0.0777	0.2215
4	42	0	0.0260	0.0880					
	46	15	0.0267	0.0974					
	49	30	0.0265	0.1071					
	45	45	0.0300	0.1112					
	45	60	0.0321	0.1246					
	42	90	0.0276	0.1265					
	47	120	0.0341	0.1295					

ตารางผนวกที่ ๑5 ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 20 พฤศจิกายน 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	28	0	0.1000	0.1122	5	35	0	0.0705	0.1812
	27	15	0.1287	0.1620		40	15	0.6988	0.4085
	36	30	0.1375	0.1821		40.5	30	1.2380	0.6795
	35	45	0.1417	0.1623		40	45	1.2543	0.6902
	36	60	0.1909	0.1984		41	60	1.2848	0.7388
	38	75	0.2125	0.2219		41	75	1.1617	0.6758
	38	90	0.2645	0.2674		41	90	1.1743	0.6541
2	36	0	0.0786	0.0878	6	27	0	N.D.	0.0950
	40	15	0.0880	0.1117		30	15	0.0860	0.1086
	40	30	0.1089	0.1380		35	30	0.0808	0.0988
	41	45	0.1094	0.1326		36	45	0.0823	0.1196
	42	60	0.0977	0.1501		37	60	0.1242	0.1507
	42	75	0.1166	0.1345		38	75	0.1441	0.1696
	43	90	0.1197	0.1486		39	90	0.3678	0.3484
3	42	0	N.D.	0.0884	7	38	0	0.0794	0.1010
	43	15	0.0776	0.0928		43	15	0.2763	0.2584
	42	30	0.1008	0.1049		39	30	0.1476	0.1031
	43	45	0.1219	0.1201		44	45	0.5626	0.4898
	41	60	0.1138	0.0965		44	60	0.6859	0.6243
	40	75	0.1380	0.1765		45	90	1.0368	0.9197
	40	90	0.1610	0.2069		46	120	1.2079	1.0619
4	42	0	0.0892	0.1145	8	39	0	0.1576	0.2024
	45	15	0.0937	0.1348		42	15	0.4732	0.6007
	43	30	0.1221	0.1474		43	30	0.6126	0.7446
	42	45	0.1669	0.1802		42	45	0.9070	1.1828
	40	60	0.3600	0.2423		41	60	0.9512	1.2586
	40	90	N.D.	N.D.		40	90	1.1315	1.4756
	40	120	1.1977	0.8998					

หมายเหตุ: N.D. ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางผนวกที่ ๑๖ ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 25 ธันวาคม 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	32	0	0.0980	0.1519	5	40	0	0.1360	0.2086
	33	15	0.1206	0.2230		43	15	0.5407	0.4384
	35	30	0.1688	0.3108		42	30	0.5607	0.4501
	37	45	0.2101	0.3242		43	45	0.9267	0.6609
	39	60	0.2154	0.3414		41	60	0.9985	0.6791
	40	75	0.2559	0.3955		43	75	1.2923	0.8795
	38	90	0.2013	0.3402		44	90	1.5328	1.0333
2	31	0	0.9810	0.1504	6	38	0	0.0819	0.1633
	32	15	0.1024	0.1571		39	15	0.0927	0.1804
	34	30	0.1165	0.1883		40	30	0.1077	0.1748
	38	45	0.1207	0.2104		42	45	0.1117	0.1824
	39	60	0.1393	0.2856		41	60	0.1193	0.1836
	42	75	0.1208	0.2703		43	75	0.0877	0.1639
	41	90	0.1773	0.3175		42	90	0.0932	0.1893
3	37	0	N.D.	0.1428	7	39	0	0.1256	0.2177
	39	15	0.0840	0.1439		41	15	0.1092	0.1938
	40	30	0.1024	0.1472		43	30	0.1180	0.2059
	41	45	0.1165	0.1489		44	45	0.1348	0.2029
	41	60	0.1307	0.1528		45	60	0.1398	0.2090
	43	75	0.1466	0.1688		46	75	0.1429	0.2299
	40.2	90	0.1761	0.1932		46	90	0.1778	0.2458
4	38	0	N.D.	0.0979	8	38	0	0.0839	0.1584
	39	15	0.0929	0.1259		41	15	0.0867	0.1171
	41	30	0.0955	0.1244		40	30	0.0894	0.1738
	39	45	0.1244	0.1491		43	45	0.0983	0.1810
	39	60	0.1329	0.1660		44	60	0.1036	0.2009
	41	75	0.1524	0.1730		45	75	0.1087	0.2298
	43	90	0.1578	0.1890		47	90	0.1125	0.2886

หมายเหตุ: N.D. ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางผนวกที่ ๑๗ ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 23 มกราคม 2553

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	31	0	0.0605	0.0645	5	40	0	0.0931	0.1111
	34	15	0.3272	0.2858		39	15	0.4553	0.3835
	36	30	0.5441	0.4308		39	30	0.4767	0.4051
	38	45	0.5924	0.4676		40	45	0.5163	0.4012
	33	60	0.8305	0.6220		42	60	0.5701	0.4560
	39	75	0.9031	0.6749		43	75	0.7180	0.5433
	44	90	0.9375	0.7213		45	90	0.7343	0.5341
2	31	0	0.0761	0.0946	6	33	0	0.1111	0.1435
	37	15	0.0988	0.1321		36	15	0.6564	0.4973
	35	30	0.1218	0.2187		37	30	1.4322	1.0306
	37	45	0.2011	0.2299		39	45	1.7884	1.5155
	36	60	0.2572	0.2636		40	60	1.9454	1.3706
	37	75	0.2911	0.2753		42	75	2.0095	1.4253
	38	90	0.3109	0.3415		39	90	1.9476	1.4699
3	38	0	0.0596	0.0665	7	35	0	0.0932	0.2585
	39	15	0.2552	0.1247		37	15	0.1587	0.1504
	41	30	0.3043	0.2283		37	30	0.1684	0.1846
	42	45	0.3475	0.3082		39	45	0.1822	0.1884
	42	60	0.3651	0.3346		40	60	0.2760	0.1610
	41	75	0.3469	0.3126		40	75	0.3591	0.2163
	43	90	0.3642	0.3814		43	90	0.4062	0.2294
4	39	0	0.0984	0.1537	8	34	0	0.0982	0.1196
	42	15	0.3285	0.3597		36	15	0.2656	0.2459
	41	30	0.4305	0.4657		37	30	0.5658	0.4654
	43	45	0.4908	0.5210		39	45	0.5462	0.4353
	43	60	0.4418	0.4755		40	60	0.7965	0.5973
	42	75	0.6821	0.6568		43	75	1.1423	0.8540
	44	90	0.7164	0.7042		43	90	1.4663	1.1533

ตารางผนวกที่ ๑๘ ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2553

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	31	0	0.0839	0.0687	5	40	0	0.1581	0.2634
	37	15	0.0891	0.0946		38	15	2.8858	1.9801
	36	30	0.1146	0.1125		37	30	4.2200	2.8819
	37	45	0.1214	0.1036		37	45	4.5491	3.0789
	33	60	0.1441	0.1216		38	60	4.7367	3.1235
	42	75	0.1450	0.1278		44	75	4.5261	3.0549
	43	90	0.1450	0.1363		43	90	4.1981	2.6169
2	32	0	0.1168	0.1559	6	38	0	1.1674	0.9367
	36	15	0.2267	0.2619		35	15	2.3846	1.7205
	41	30	0.4354	0.4186		38	30	2.7541	2.0731
	42	45	0.5298	0.4789		40	45	3.4444	2.4262
	43	60	0.4586	0.4415		40	60	3.4833	2.4655
	44	75	0.4735	0.4414		42	75	3.8475	2.4859
	46	90	0.4888	0.4874		45	90	3.6535	2.5834
3	36	0	0.0872	0.0878	7	41	0	0.0431	0.4659
	38	15	0.1373	0.1367		40	15	1.7829	1.3258
	40	30	0.1795	0.2224		44	30	3.4894	2.4773
	39	45	0.3576	0.3460		43	45	4.0712	2.8868
	40	60	0.6295	0.5751		44	60	4.8740	3.3744
	41	75	0.7877	0.6401		42	75	5.9444	4.1593
	43	90	0.9790	0.8780		42	90	6.9896	4.8632
4	35	0	0.1274	0.1503	8	36	0	0.0964	0.2060
	37	15	0.2767	0.3186		38	15	0.1111	0.2460
	38	30	0.7633	0.5803		41	30	0.1268	0.2714
	38	45	0.8793	0.6576		44	45	0.1728	0.2936
	39	60	0.8877	0.6569		42	60	0.1740	0.2813
	40	75	1.1054	0.8956		43	75	0.1963	0.2840
	41	90	0.8847	0.6698		43	90	0.2258	0.2747

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 25 มีนาคม 2553

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	35	0	0.1033	0.1000	5	39	0	0.2865	0.3237
	38	12	0.2605	0.3377		51	12	0.6037	0.5789
	40	24	0.5635	0.6521		49	24	1.6879	1.4707
	41	36	0.7409	0.8705		54	36	2.3686	1.9545
	42	48	0.8360	0.9996		52	48	3.3266	2.8645
	42	60	0.9276	1.1322		52	60	3.6441	3.2101
	45	72	0.9905	1.2074		52	72	4.2635	3.7941
2	32	0	0.0938	0.1191	6	41	0	0.0942	0.1448
	34	12	0.0965	0.1343		43	12	0.1420	0.3896
	37	24	0.1043	0.1878		45	24	0.1677	0.3982
	41	36	0.1225	0.1447		48	36	0.2060	0.4554
	42	48	0.1272	0.2286		47	48	0.2686	0.5296
	44	60	0.1928	0.2044		49	60	0.3636	0.6090
	44	72	0.2149	0.2245		48	72	0.5112	0.6383
3	37	0	0.1050	0.1497	7	41	0	0.0822	0.1744
	45	12	0.6224	0.6025		44	12	0.7672	0.6305
	49	24	1.0920	1.0157		44	24	1.3434	0.9917
	51	36	1.4045	1.2565		49	36	1.8482	1.3253
	48	48	1.8578	1.7605		46	48	2.3942	1.7076
	51	60	2.1489	2.0653		48	60	2.9315	2.0867
	50	72	2.5141	2.4273		48	72	3.1673	2.2999
4	37	0	0.0941	0.1531	8	41	0	0.1224	0.1948
	45	12	0.1006	0.1759		47	12	0.1541	0.2983
	50	24	0.1297	0.2135		49	24	0.2763	0.3906
	51	36	0.1538	0.2330		49	36	0.3378	0.3727
	51	48	0.2007	0.2641		49	48	0.4054	0.4792
	50	60	0.2391	0.3094		49	60	0.5650	0.6070
	51	72	0.2788	0.3950		48	72	0.8289	0.7005

ตารางผนวกที่ 10 ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 15 พฤษภาคม 2553

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	35	0	0.1534	0.2313	5	38	0	0.2574	0.2672
	38	12	0.4631	0.3518		41	12	0.4847	0.4417
	38	24	0.8085	0.4539		43	24	1.1095	1.0799
	39	36	0.9501	0.6169		44	36	2.2513	4.4879
	42	48	1.3692	0.7717		48	48	2.5449	2.2667
	41	60	2.0205	1.1729		48	60	3.2253	2.9004
	42	72	2.5882	1.6533		50	72	3.6018	3.1598
2	34	0	0.1274	0.1369	6	38	0	N.D.	0.0974
	37	12	0.2379	0.2549		39	12	0.1037	0.1567
	40	24	0.3630	0.3124		42	24	0.2070	0.2303
	42	36	0.4600	0.4090		46	36	0.3185	0.2947
	43	48	0.4857	0.4563		48	48	0.3719	0.3694
	42	60	0.5560	0.5539		49	60	0.4473	0.4861
	43	72	0.6467	0.6358		51	72	0.4658	0.4901
3	38	0	0.2073	0.1862	7	39	0	N.D.	0.1300
	40	12	0.3766	0.2961		42	12	0.4103	0.4285
	42	24	0.7091	0.6279		43	24	0.6614	0.6441
	43	36	0.3306	0.3759		45	36	0.9966	1.1145
	42	48	0.3707	0.4359		46	48	0.9966	1.1145
	45	60	0.4200	0.4024		48	60	1.6688	1.7381
	47	72	0.4767	0.4689		53	72	2.1705	1.7974
4	37	0	0.0909	0.2123	8	40	0	0.0994	0.1567
	40	12	0.1752	0.2618		41	12	0.1317	0.1983
	43	24	0.2322	0.2820		43	24	0.2713	0.2750
	44	36	0.3306	0.3759		45	36	0.3620	0.3511
	45	48	0.3707	0.4359		48	48	0.4481	0.4032
	45	60	0.4200	0.4024		50	60	0.5448	0.4749
	48	72	0.4767	0.4689		52	72	0.6159	0.6072

หมายเหตุ: N.D. ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางผนวกที่ 11 ผลการตรวจวัดก๊าซใน Chamber ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน เทศบาลนคร
แหลมฉบัง วันที่ 19 มิถุนายน 2552

Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)		Point No.	Temp. °C	Time (min)	Composition (%)	
			CH4	CO2				CH4	CO2
1	35	0	0.0858	0.1076	5	35	0	N.D.	0.1057
	38	9	0.1112	0.2231		42	9	0.0941	0.1252
	40	18	0.1535	0.3498		48	18	0.0978	0.1456
	39	27	0.2689	0.6196		44	27	0.1259	0.1976
	39	36	0.3604	0.8440		44	36	0.1359	0.2009
	38	45	0.4446	1.0352		44	45	0.1619	0.2263
	47	54	0.5375	1.2407		54	54	0.1875	0.2680
2	38	0	0.1049	0.2180	6	36	0	N.D.	0.0821
	43	9	0.1889	0.3251		41	9	0.0960	0.1158
	43	18	0.3009	0.4890		49	18	0.1485	0.1486
	45	27	0.3739	0.6262		45	27	0.2019	0.1929
	45	36	0.5751	0.8662		47	36	0.2312	0.2472
	43	45	0.6573	0.9823		43	45	0.3207	0.2929
	42	54	0.9062	1.3013		51	54	0.3812	0.3553
3	37	0	0.4589	0.8140	7	37	0	0.1329	0.2536
	43	9	0.7259	0.7909		42	9	0.2240	0.3518
	43	18	1.1586	1.219		42	18	0.3023	0.4322
	44	27	1.4502	1.5639		43	27	0.4366	0.4762
	45	36	1.7788	1.9377		42	36	0.5370	0.5586
	43	45	2.0163	2.1850		41	45	0.7010	0.6702
	54	54	1.9994	2.2269		40	54	0.8789	0.7340
4	33	0	N.D.	0.2464	8	36	0	N.D.	0.0971
	43	9	0.1035	0.3376		39	9	0.1071	0.1346
	45	18	0.1073	0.3449		41	18	0.1088	0.1818
	46	27	0.1887	0.4538		41	27	0.1160	0.2041
	46	36	0.2587	0.5559		42	36	0.1293	0.2201
	46	45	0.3166	0.6785		42	45	0.1375	0.2473
	45	54	0.4196	0.8110		41	54	0.1651	0.3074

หมายเหตุ: N.D. ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางผนวกที่ ค12 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในแต่ละเดือนประจำปี พ.ศ. 2552 เทศบาลนคร
แหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	0	0	0	0	0	14.8	0	0	7.4	9.3	0	0
2	0	0	0.9	0	2.9	0.2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	5.0	0	T	0
4	0	0	0	26.0	0	8.5	0	0	1.7	4.8	0	0
5	0	0	0	0	0	1.0	4.0	0	0	35.1	0	0
6	0	0	0	47.0	0	8.1	20.0	0	11.4	104.0	0	0
7	0	0	0	5.0	0	0	0	0	0	1.0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1.5	0	4.5	0	0	0
9	0	0	0	13	0	0	0	0	T	12.4	0	0
10	0	0	0	2.0	0	0	0	0	0	3.8	0	0
11	0	0	0	0	6.0	0	0	0	0	3.7	0	0
12	0	0	0	0	2.0	0	0	0	0	1.0	0	0
13	0	0	0	0	11.3	2.0	1.4	0	0	4.3	0	0
14	0	0	0	7.2	15.4	0	7.7	0	25.0	0	0	0
15	0	0	0	0	6.9	8.5	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	6.3	0	0	0	2.0	T	1.2	0
17	0	0	0.3	0	4.9	T	0	4.2	0.6	37.5	3.6	0
18	0	0	1.0	0	6.3	0	0	0	0	36.1	0	0
19	0	0	0	0	0	0.1	0	2.4	12.2	0.8	0	0
20	0	0	13.2	0	6.6	0	0	7.4	11.8	1.1	0	0
21	0	0	17.6	0	0	0	2.2	0	0.2	15.3	0	0
22	0	0	0	0	4.8	0	19.9	0	44.9	29.6	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	8.0	8.6	0	0
24	0	0	0	0	28.0	0	0	1.0	19.7	0.6	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0
26	0	0	0	1.9	60	0	3.1	27.7	26.4	0.2	0	0
27	0	0	0	0	0	2.5	0	0	24.0	0	0	0

ตารางผนวกที่ ค12 (ต่อ)

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
28	0	0	0	1.2	0	0	0	6.6	5.0	0	0	0
29	0	-	0	35.7	0	5.2	0	1.0	3.3	0	0	0
30	0	-	0	0.4	4.1	0	0	1.5	13.5	0	0	0
31	0	-	0	-	0.1	-	1.4	0	-	0	-	0
N	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
TOTAL	0	0	33	139.4	165.6	50.9	61.2	51.8	228.1	309.2	4.8	0
R-DAY	0	0	5	10	15	11	9	8	21	20	2	0
MAX	0	0	17.6	47	60	14.8	20	27.7	44.9	104	3.6	0

หมายเหตุ: R-DAY IS NO. OF DAY WITH RAINFALL GREATER THAN OR EQUAL TO 0.1 MM.

“T” IS TRACE, RAINFALL AMOUNT LESS THAN 0.1 MM.

DAIL VALUES ARE ACCUMULATED RAINFALL BETWEEN 09.00 – 09.00 HR.

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2552)

ตารางผนวกที่ ค13 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในแต่ละเดือนประจำปี พ.ศ. 2553 เทศบาลนคร
แหลมฉบัง อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	11.6
3	0	0	0	0	0	0
4	3.0	0	0	0	0	4.6
5	0	0	0	0	0	0
6	2.0	0	0	0	5.0	0
7	0	0	0	0	0	5.8
8	0	0	0	0	0	40.0
9	0	0	0	0	0	4.0
10	0	0	0	0	0	2.0
11	0	0	0	0	28.8	3.7
12	0	0	0	0	6.8	0
13	0	0	0	0	0	15.9
14	0	0	0	0	0	8.4
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	1.0	0	0.7
17	0	0	6.3	3.0	0	0
18	0	0	0	0.5	0	0
19	0	14.6	0	0	0	6.6
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	1.4
22	1.2	0	14.2	0	2.4	52
23	0	0	0	0	0	0
24	2.2	0	0	0	0	0
25	9.1	0	0	0	30.8	91.4
26	0.8	0	0	0	1.2	0
27	0	0	0	0	0	40.8

ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
28	0	0	0	1.6	25.1	26.5
29	0	-	14.8	7.6	28.0	0.5
30	0	-	0	0	0	0
31	0	-	0	-	0	-
N	31	28	31	30	31	30
TOTAL	18.3	14.6	35.3	13.7	128.1	315.9
R-DAY	6	1	3	5	8	17
MAX	9.1	14.6	14.8	7.6	30.8	91.4

หมายเหตุ: R-DAY IS NO. OF DAY WITH RAINFALL GREATER THAN OR EQUAL TO 0.1 MM.

“T” IS TRACE, RAINFALL AMOUNT LESS THAN 0.1 MM.

DAIL VALUES ARE ACCUMULATED RAINFALL BETWEEN 09.00 – 09.00 HR.

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2553)

ภาคผนวกที่ ค14 ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพได้ฟิวคินฝั่งกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง
จ.ชลบุรี ระหว่าง กันยายน 2552 – มิถุนายน 2553 ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 1 - 3

d/m/y	Point No.	age (monht)	Composition (%)			
			%CH4	%CO2	%O2	%N2
23/09/2009	1	2	0.05	0.30	21.94	77.71
23/10/2009		3	0.29	0.26	21.95	77.50
20/11/2009		4	0.36	0.53	22.40	76.71
25/12/2009		5	0.69	0.58	21.44	77.29
23/01/2010		6	0.81	0.82	22.56	75.81
22/02/2010		7	1.09	1.20	21.33	76.38
25/03/2010		8	4.94	2.85	22.32	69.89
15/05/2010		10	2.44	1.79	22.05	73.72
19/06/2010		11	0.67	1.08	22.62	75.63
23/10/2009	2	2	0.14	0.13	21.20	78.53
20/11/2009		3	5.98	3.60	20.13	70.29
25/12/2009		4	9.49	8.19	20.00	62.32
23/01/2010		5	9.67	7.11	19.36	63.86
22/02/2010		6	10.27	7.05	19.24	63.44
25/03/2010		7	6.59	11.03	21.39	60.99
15/05/2010		9	9.22	9.94	22.53	58.31
19/06/2010		10	5.20	6.35	21.43	67.02
23/09/2009	3	2	0.35	0.30	21.27	78.08
23/10/2009		3	1.01	0.82	20.82	77.35
20/11/2009		4	4.39	3.23	20.42	71.96
25/12/2009		5	5.79	4.11	20.12	69.98
23/01/2010		6	1.01	0.98	22.37	75.64
22/02/2010		7	1.18	3.31	21.83	73.68
25/03/2010		8	3.85	2.78	20.69	72.68
15/05/2010		10	4.05	9.74	24.40	61.81
19/06/2010		11	3.30	2.19	22.15	72.36

ภาคผนวกที่ ค15 ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพได้ฟิวคินฝั่งกลบมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง
จ.ชลบุรี ระหว่าง ตุลาคม 2552 – มิถุนายน 2553 ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 4 – 6

d/m/y	Point No.	age (monht)	Composition (%)				
			%CH4	%CO2	%O2	%N2	
23/10/2009	4	2	1.46	0.83	20.65	77.06	
20/11/2009		3	3.62	2.47	20.77	73.14	
25/12/2009		4	6.93	4.11	20.25	68.71	
23/01/2010		5	8.46	5.20	19.96	66.38	
22/02/2010		6	3.50	2.63	21.59	77.28	
25/03/2010		7	0.50	0.56	21.87	77.07	
15/05/2010		9	0.35	0.34	23.45	75.86	
19/06/2010		10	0.26	0.36	22.63	76.75	
20/11/2009		5	2	0.07	0.28	21.04	78.61
25/12/2009			3	0.27	0.27	22.41	77.05
23/01/2010	4		0.08	0.10	23.00	76.82	
22/02/2010	5		0.16	0.34	21.51	77.99	
25/03/2010	6		0.09	0.19	22.05	77.67	
15/05/2010	8		0.78	0.53	22.01	76.68	
19/06/2010	9		4.64	2.60	21.53	71.53	
23/10/2009	6	2	0.16	0.17	21.79	77.88	
20/11/2009		3	0.31	0.25	21.15	78.29	
25/12/2009		4	0.69	0.56	20.95	77.80	
23/01/2010		5	0.26	0.24	20.76	78.74	
22/02/2010		6	0.69	0.76	20.56	77.99	
25/03/2010		7	0.73	1.08	21.06	77.13	
15/05/2010		9	0.26	0.33	22.44	76.97	
19/06/2010		10	0.22	0.23	21.65	77.90	

ภาคผนวกที่ ค15 ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพได้ฟิวดี นฟังก์ลมมูลฝอยเทศบาลนครแหลมฉบัง
จ.ชลบุรี ระหว่าง ตุลาคม 2552 – มิถุนายน 2553 ณ จุดตรวจวัดก๊าซที่ 7 – 8

d/m/y	Point No.	age (monht)	Composition (%)			
			%CH4	%CO2	%O2	%N2
20/11/2009	7	2	17.05	13.55	24.17	45.23
25/12/2009		3	8.90	7.86	22.63	60.61
23/01/2010		4	5.17	4.73	20.23	69.87
22/02/2010		5	2.78	3.17	21.24	72.81
25/03/2010		6	3.44	3.95	20.52	72.09
15/05/2010		8	13.08	14.39	21.23	51.30
19/06/2010		9	9.86	10.61	19.22	60.31
20/11/2009	8	1	0.36	0.53	21.61	77.50
25/12/2009		2	0.69	0.58	22.41	76.32
23/01/2010		3	0.81	0.83	22.48	75.88
22/02/2010		4	1.09	1.20	20.88	76.83
25/03/2010		5	0.29	3.90	21.78	74.03
15/05/2010		7	0.22	0.16	23.31	76.31
19/06/2010		8	0.12	0.23	22.88	76.77

ภาคผนวกที่ ค17 ค่าความชื้นของดินฝังกลบมูลฝอยที่ของระดับชั้นที่ 3 ณ จุดตรวจวัดที่ 1 – 8
ระหว่างวันที่ 22 สิงหาคม 2552 – 19 มิถุนายน 2553

d/m/y	ค่าความชื้นของผิวดินฝังกลบ							
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8
22/08/2009	3.93	-	10.32	-	-	-	-	-
23/09/2009	7.65	9.18	12.16	11.73	-	-	-	-
23/10/2009	7.41	7.41	10.90	9.71	9.71	10.90	-	-
20/11/2009	6.42	6.04	4.35	3.69	3.39	3.69	7.56	4.47
25/12/2009	1.27	3.56	1.36	1.78	1.84	1.78	2.68	1.56
23/01/2010	6.07	5.01	10.72	6.58	4.91	6.36	4.50	6.25
22/02/2010	6.27	6.02	4.56	6.71	5.26	5.42	5.83	6.42
25/03/2010	6.78	3.86	5.43	7.26	6.23	6.32	6.32	7.54
15/05/2010	4.16	5.34	5.92	5.16	4.92	8.10	7.15	4.19
19/06/2010	11.69	5.89	4.96	5.72	6.86	5.18	5.93	11.59

หมายเหตุ: - ยังไม่ทำการฝังกลบมูลฝอยถึงตำแหน่งของชั้นที่ได้ทำการตรวจวัด

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายกิตติกุล สารสุวรรณ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	6 พฤษภาคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

