



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

..... วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้วิธีโคเมทในพืชในการประเมินความเป็นพิษของก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหย
บริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝนและฤดูแล้ง

Use of Plant Comet Assay to Evaluate Toxicity of Landfill Gas and Volatile Organic
Compounds at Sanitary Landfill and Open Dump in Rainy and Dry Season

นามผู้วิจัย นางสาวสุภารัตน์ กุคำอู

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ไฉ่ เจริญไชยศรี, D.Tech.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

..... (รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้วิธีโคเมทในพืชในการประเมินความเป็นพิษของก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหย
บริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝนและฤดูแล้ง

Use of Plant Comet Assay to Evaluate Toxicity of Landfill Gas and Volatile Organic Compounds
at Sanitary Landfill and Open Dump in Rainy and Dry Season

โดย

นางสาวสุดารัตน์ กุคำอู

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภรัตน์ กุคำอู 2553: การใช้วิธีโคเมทในพืชในการประเมินความเป็นพิษของก๊าซชีวภาพ และสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝนและ ฤดูแล้ง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ไฉไล เกียมไชยศรี, D.Tech.Sc. 179 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นพิษต่ออินของก๊าซที่ระบายออกจากบ่อ กำจัดขยะโดยวิธีโคเมทในพืชใช้พื้ด่างเป็นดัชนีพืชทดสอบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ แพร่ระบายก๊าซชีวภาพและระดับการทำลายดีเอ็นเอของพื้ด่างในบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและ กองมูลฝอยเปิดในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ที่หลุมฝังกลบมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ผลการทดลองพบว่า อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดบริเวณ กองเปิดในฤดูแล้งเฉลี่ย 31.8 ± 14.1 และ 20.1 ± 8.7 กรัม/ตร.ม./วัน ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดบริเวณ หลุมฝังกลบในฤดูฝนเฉลี่ย 1.3 ± 1.6 และ 5.5 ± 1.2 กรัม/ตร.ม./วัน ตามลำดับ พบว่าอัตราการแพร่ ระบายก๊าซทั้งสองชนิดในกองเปิดมีค่าสูงกว่าในหลุมฝังกลบทั้งสองฤดู ($P < 0.05$) ทั้งนี้การแพร่ ระบายก๊าซดังกล่าวในพื้นที่เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($P > 0.05$) ส่วนการหาอัตรา การแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหย พบว่า อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ในกองเปิดฤดูฝน (84.3 ± 13.3 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ไม่แตกต่างกันกับฤดูแล้ง (83.9 ± 15.1 มิลลิกรัมต่อตาราง เมตรต่อวัน) ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝน (31.2 ± 3.8 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ไม่แตกต่างกับฤดูแล้ง (30.7 ± 3.8 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ($P > 0.05$) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาต่าง พื้นที่กัน พบว่า อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดมีค่าสูงกว่าหลุมฝัง กลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ($P < 0.05$) และสารที่พบมากที่สุดคือ เบนซีน สำหรับการทดสอบความ เป็นพิษที่ระยะเวลาสัมผัส 96 ชั่วโมง พบว่าระดับการทำลายดีเอ็นเอของพื้ด่างมีค่าเฉลี่ยบริเวณกอง เปิดสูงกว่าหลุมฝังกลบ ในฤดูแล้งมีค่าร้อยละ 60.6 ± 13.5 และ 41.7 ± 10.5 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าในฤดู ฝน ($P < 0.05$) ที่มีค่าร้อยละ 42.9 ± 10.5 และ 31.4 ± 4.1 ตามลำดับ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ระดับการทำลายดีเอ็นเอของพื้ด่างแปรผันตามกับอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ ระเหยในบ่อกำจัดขยะมูลฝอย ($R^2 = 0.703-0.807$)

Sudarat Kucamau 2010: Use of Plant Comet Assay to Evaluate Toxicity of Landfill Gas and Volatile Organic Compounds at Sanitary Landfill and Open Dump in Rainy and Dry Season. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Wilai Chiemchaisri, D.Tech.Sc. 179 pages.

The study aims to investigate the potential genetic damages of the gas emissions from solid waste disposal sites by applying the Plant Comet Assay approach and using the Pothos (*Epipremnum aureum*) as the sample. In order to find the correlations of the methane gas emissions and DNA damage in different settings and seasons, the experiments were conducted at an open-dump site and a landfill during dry and rainy seasons at Nonthaburi province. The results appeared that high emission rates of methane and carbon dioxide were found during dry season in open-dump site (31.8 ± 14.1 and $20.1 \pm 8.7 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$, respectively), and low emission rates of those appeared during rainy season in landfill (1.3 ± 1.6 and $5.5 \pm 1.2 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$, respectively). Their emissions from the open-dump site were higher than those from the landfill all seasons ($P < 0.05$). There were no difference in rates of each gas emission between dry and wet seasons ($P > 0.05$) in each disposal site. The emissions of volatile organic compounds (VOCs) during rain season in open-dump site ($84.3 \pm 13.3 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$) were not different from those in dry season ($83.9 \pm 15.1 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$) ($P > 0.05$), similarly those in rainy season in landfill site ($31.2 \pm 3.8 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$) were not different from those in dry season ($30.7 \pm 3.8 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$) ($P > 0.05$). However, VOCs emissions in open-dump were significantly higher than in landfill site ($P < 0.05$) and the highest concentration was benzene. The average of DNA damage of Pothos at 96 exposing hours in the open dump ($60.6 \pm 13.5\%$) was significantly higher than that in the landfill ($41.7 \pm 10.5\%$). Besides, they were higher than those in rainy season both in the open dump (42.9 ± 10.55) and in the landfill ($31.4 \pm 4.1\%$), ($P < 0.05$). The results suggest that DNA damage degrees of Pothos directly correlated to the biogas and volatile organic compound emission rates ($R^2 = 0.703-0.807$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิไล เจริญไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความกรุณาอย่างดียิ่งในการช่วยเหลือวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำ หาทุนสนับสนุนงานวิจัยและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจริญไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณนางสาวประดิษฐา ณ ร้อยเอ็ด นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทดสอบโคเมท

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยรหัส ว-ท(ค)7251 จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่และน้อง รวมถึงเพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดาร์ตน์ กุคำอู

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	49
อุปกรณ์และสารเคมี	49
วิธีการ	53
ผลและวิจารณ์	61
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก ข้อมูลก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์ระเหย	105
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทำลายดีเอ็นเอพืช(พลูด่าง)	145
ภาคผนวก ค การเตรียมสารเคมีและภาพสถานที่และอุปกรณ์การเก็บก๊าซ	162
ภาคผนวก ง การคำนวณอัตราการแพร่ระบายและความเข้มข้นก๊าซ	168
ภาคผนวก จ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ จังหวัดนนทบุรีและข้อมูลทางสถิติ	173
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	179

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของก๊าซในพื้นที่ฝังกลบที่(Lulea)	11
2	ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร	13
3	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอน ไดออกไซด์ของชั้นมูลฝอย	15
4	ข้อมูลการปฏิบัติการการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบมูลฝอย	16
5	ผลความเข้มข้นของก๊าซต่อพืช	20
6	สรุปการวัดการแพร่ระบายของมีเทนในพื้นที่ต่างๆ โดยวิธี Close Flux Chamber	24
7	ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบได้ในสิ่งแวดล้อม	26
8	วิธีการวัดองค์ประกอบและอัตราการแพร่ระบายของก๊าซจากหลุมฝังกลบ มูลฝอยชุมชน	28
9	วิธีการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในสนาม	32
10	วิธีการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในอากาศ	34
11	ขนาดของดีเอ็นเอกับความเข้มข้นของอะกาโรสเจลที่เหมาะสม	37
12	แสดงผลองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัด นนทบุรี	48
13	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอน ไดออกไซด์ในงานวิจัย ที่หลุมฝังกลบองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี(ไทรน้อย)โดยใช้ วิธี close flux chamber	62
14	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบในฤดูฝน	63
15	อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง	63
16	อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูฝน	64
17	อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูแล้ง	64
18	อัตราส่วนระหว่างอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์	66

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	อุณหภูมิในChamber และในบรรยากาศ	67
20	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูฝน วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51	70
21	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูแล้ง วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52	70
22	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบ และกองเปิด ในฤดูฝน วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51	71
23	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบ และกองเปิด ในฤดูแล้ง วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52	71
24	อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนต่อก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์	72
25	อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง	73
26	อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝน	75
27	อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง	77
28	อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝน	79
29	การทำลายดีเอ็นเอพีชชุดควบคุม	84
30	การทำลายดีเอ็นเอพีชบริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบที่ระยะเวลาสัมผัส 96 ชั่วโมง	84

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเครื่อง GC 14B	106
ก2 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 วันที่ 19 กันยายน 2551	107
ก3 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 2 วันที่ 4 ตุลาคม 2551	108
ก4 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 3 วันที่ 3 พฤศจิกายน 2551	109
ก5 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 1 วันที่ 23 กันยายน 2551	110
ก6 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 2 วันที่ 17 ตุลาคม 2551	111
ก7 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 3 วันที่ 14 พฤศจิกายน 2551	112
ก8 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2552	113
ก9 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 2 วันที่ 1 มีนาคม 2552	114
ก10 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 3 วันที่ 30 มีนาคม 2552	115
ก11 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1 วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2552	116
ก12 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 2 วันที่ 20 มีนาคม 2552	117
ก13 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 3 วันที่ 4 เมษายน 2552	118
ก14 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณกองเปิดฤดูฝน	119

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก15 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบขยะ	120
ก16 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณกองเปิดขยะ	121
ก17 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบ	122
ก18 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณกองเปิดขยะ	123
ก19 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบขยะ	124
ก20 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณกองเปิดขยะ	125
ก21 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบขยะ	126
ก22 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเครื่อง GCMS	127
ก23 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการใช้เครื่อง GCMS บริเวณกองเปิดในขยะ	133
ก24 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการใช้เครื่อง GCMS บริเวณกองเปิดในขยะ	135
ก25 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการใช้เครื่อง GCMS บริเวณหลุมฝังกลบในขยะ	137
ก26 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการใช้เครื่อง GCMS บริเวณหลุมฝังกลบในขยะ	139
ก27 ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยที่สามารถตรวจพบโดยใช้เครื่อง GCMS	141
ข1 ระดับการทำลายดีเอ็นเอกองเปิดขยะ	146
ข2 ระดับการทำลายดีเอ็นเอกองปิดขยะ	148
ข3 ระดับการทำลายดีเอ็นเอกองเปิดขยะ	150
ข4 ระดับการทำลายดีเอ็นเอกองปิดขยะ	152
ข5 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควบคุมขยะที่ 0 ชั่วโมง	154
ข6 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควบคุมขยะที่ 0 ชั่วโมง	156
ข7 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควบคุมขยะที่ 96 ชั่วโมง	158
ข8 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควบคุมขยะที่ 96 ชั่วโมง	160

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ1	อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด ของจังหวัดนนทบุรี ระหว่างปี พ.ศ.2548 – 2551	174
จ2	ปริมาณน้ำฝนในอำเภอไทยน้อย จังหวัดนนทบุรี	176
จ3	ค่าสถิติ t-test ที่ความเชื่อมั่น 95%	178

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	(ก) วิธีการฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area Method)	6
	(ข) วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)	6
2	การเกิดก๊าซในพื้นที่ฝัง	9
3	กราฟความเข้มข้นมีเทนกับเวลา	22
4	การวิเคราะห์ภาพเซลล์โคเมท	38
5	ขั้นตอนการทดสอบด้วยวิธีโคเมท ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก	39
6	ขบวนการจัดการมูลฝอยของ อบจ. นนทบุรี	46
7	ปริมาณมูลฝอย เทศบาลนครนนทบุรี ปี พ.ศ.2536-2549	47
8	ภาพจำลอง close flux chamber	51
9	สถานที่กำจัดมูลฝอยที่ทำการทดลอง	55
10	อัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพในกองเปิดและหลุมฝังกลบตามช่วงเวลา	65
11	อุณหภูมิในกองเปิดและหลุมฝังกลบตามช่วงเวลา	68
12	ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง	74
13	ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝน	76
14	ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูแล้ง	78
15	ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝน	80
16	อัตราการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองเปิดในฤดูฝนและฤดูแล้ง	81
17	อัตราการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนและฤดูแล้ง	81
18	อัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยรวมทั้งหมดทุกชนิดในแต่ละพื้นที่แต่ละฤดู	82
19	ตัวอย่างการทำลายดีเอ็นเอพลูค่า	85
20	กราฟการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ และระดับการทำลายดีเอ็นเอพีช(พลูค่า)	86
21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ลอการิทึมของอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพ และร้อยละของระดับการทำลายดีเอ็นเอ	89

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซชีวภาพในบรรยากาศ และ ร้อยละของระดับการทำลายดีเอ็นเอ	90
23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย และ ร้อยละของระดับการทำลายดีเอ็นเอ	91
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานมีเทน	106
ก2	กราฟมาตรฐานความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยกับพื้นที่กราฟ	128
ค1	บริเวณกองมูลฝอยเปิด อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี	165
ค2	บริเวณหลุมฝังกลบเปิด อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี	165
ค3	Chamber เก็บตัวอย่างก๊าซ	166
ค4	ด้านบนของ Chamber เก็บตัวอย่างก๊าซ	166
ง1	ตัวอย่างกราฟเส้น Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ก๊าซกับเวลา	169
ง2	ตัวอย่างกราฟเส้นมาตรฐานของเบนซีน	171
จ1	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแต่ละเดือนของจังหวัดนนทบุรี ปี พ.ศ.2548 – 2551	175

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DNA	=	Deoxy – ribonucleic acid
VOCs	=	volatile organic compounds
1,2-DCP	=	1,2-Dichloropropane
BEN	=	Benzene (CAS) Phene
1,3-DCP	=	1,3-Dichloropropane
TOL	=	Toluene
TCE	=	Tetrachloroethylene
p-XYL	=	p-Xylene
m-XYL	=	m-Xylene
STY	=	Styrene
IPB	=	Isopropylbenzene
m-ETOL	=	m-Ethyltoluene
TMB	=	1,3,5-Trimethylbenzene,
BUB	=	sec-Butylbenzene,
p-CYM	=	p-Cymene
DCB	=	o-Dichlorobenzene
°C	=	องศาเซลเซียส
F	=	อัตราของก๊าซที่ระบายออกมาต่อพื้นที่ต่อเวลา (Flux, g/m ² /d)
ρ	=	ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m ³)
V	=	ปริมาตรของ Chamber (m ³)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของ Chamber (m ²)
OP	=	กองมูลฝอยเปิด (Open dump)
LF	=	หลุมฝังกลบมูลฝอย (Landfill)

การใช้วิธีโคเมทในพืชในการประเมินความเป็นพิษของก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์
ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝนและฤดูแล้ง

**Use of Plant Comet Assay to Evaluate Toxicity of Landfill Gas and Volatile
Organic Compounds at Sanitary Landfill and Open Dump in Rainy and
Dry Season**

คำนำ

การเจริญเติบโตของชุมชนเมืองและการเพิ่มจำนวนประชากรส่งผลให้มีปริมาณมูลฝอยจากชุมชนที่ต้องนำไปกำจัดเพิ่มมากขึ้น การกำจัดมูลฝอยส่วนใหญ่ในประเทศไทยในอดีตที่ผ่านมาดำเนินการโดยวิธีการเทกองกลางแจ้ง ซึ่งไม่ถูกหลักสุขาภิบาลและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงได้มาก

ในปัจจุบันนี้ได้มีการดำเนินการปรับปรุงระบบการจัดการมูลฝอยในชุมชนต่างๆ โดยการก่อสร้างระบบกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล เพื่อรองรับปริมาณมูลฝอยจากชุมชนที่เพิ่มมากขึ้นและลดผลกระทบที่เกิดจากการกำจัดมูลฝอยอย่างไม่ถูกหลักสุขาภิบาล สำหรับประเทศไทยมีทั้งหลุมฝังกลบมูลฝอยและหลุมกองเปิด (open dumping sites) รวมจำนวน 425 แห่งในปี พ.ศ.2547 และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราการทิ้งมูลฝอยและปริมาณประชากรที่เพิ่มขึ้นทุกปี (ทิพย์สุริย์ และคณะ, 2549)

ผลกระทบประการหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นการด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลหรือการเทกองกลางแจ้งคือ การแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยโดยจุลินทรีย์ ก๊าซชีวภาพดังกล่าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจัดเป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ที่เป็นสาเหตุที่สำคัญในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบรรยากาศโลก พื้นที่กำจัดมูลฝอยเหล่านี้จัดเป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญแหล่งหนึ่ง โดยเฉพาะการเกิดก๊าซมีเทนซึ่งมีศักยภาพในการเพิ่มอุณหภูมิของบรรยากาศโลกได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า (Palananthakumar, 1999)

การติดตามตรวจสอบผลกระทบมลพิษทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ จากหลุมฝังกลบนั้น ส่วนใหญ่มักใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวิธีการตรวจวัดทางกายภาพและเคมีสามารถบ่งชี้ได้เฉพาะปริมาณความเข้มข้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและโอกาสการปนเปื้อน แต่ไม่สามารถบ่งชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แท้จริงในพื้นที่ศึกษาได้ ในการดำเนินการตรวจวัดและติดตามยังก่อให้เกิดสารพิษเนื่องจากการวิเคราะห์ นั้นอีกด้วย

การตรวจวัดมลพิษโดยใช้สิ่งมีชีวิต (bio-monitoring) ในปัจจุบันนี้ เริ่มมีบทบาทมากขึ้น และใช้กันมากขึ้น ซึ่งการตรวจวัดมลพิษโดยใช้สิ่งมีชีวิตจะสามารถบอกระดับความปนเปื้อนเป็นแบบเชิงคุณภาพ (qualitative) และสามารถเก็บข้อมูลการเพิ่มขึ้นของภาวะมลพิษสิ่งแวดล้อมในพื้นที่กว้างอย่างต่อเนื่องและยาวนาน นอกจากนี้ยังตรวจวัดภาวะมลพิษเชิงซ้อนในภาพรวมได้ ในการเลือกใช้พืชเป็นดัชนียังมีประโยชน์ในการนำมาใช้จำแนกประเภทของสารมลพิษได้อีกด้วย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

ในการตรวจวัดมลพิษโดยใช้สิ่งมีชีวิต (bio-monitoring) วิธีหนึ่งคือ วิธีโคเมท (comet assay or single cell gel electrophoresis assay) วิธีโคเมทเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระดับชีวโมเลกุล มีประโยชน์ในการนำมาใช้ตรวจสอบสารเคมีที่ทำให้ดีเอ็นเอขาดและแตก (DNA damage) ทำได้โดยการใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงในการสกัดเซลล์ จากนั้นทำให้ดีเอ็นเอคลายเกลียวออกจากกัน (DNA unwinding) ด้วยสารละลายที่เป็นด่างแก่ (Singh *et al.*, 1988) แล้วนำไปผ่านสนามไฟฟ้าที่มีสารละลายด่างเป็นตัวกลาง ทำการวิเคราะห์โดยอาศัยความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลดีเอ็นเอในสนามไฟฟ้า ทั้งดีเอ็นเอซึ่งมีประจุลบจะวิ่งไปหาขั้วบวก ดีเอ็นเอที่ถูกทำลายจะมีขนาดเล็กกว่า สามารถวิ่งในสนามไฟฟ้าได้เร็วกว่า จะกระจายตัวไปส่วนหาง (tail) ดีเอ็นเอที่ไม่ถูกทำลายจะมีขนาดใหญ่จะจับกลุ่มรวมตัวกันที่ส่วนหัว (head) (Gichner, 2003) เมื่อย้อมด้วยสารเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ แล้วมองผ่านกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์ของดีเอ็นเอที่ถูกทำลาย มีลักษณะคล้ายดาวหาง ความยาวของเซลล์จะขึ้นกับดีเอ็นเอที่ถูกทำลายในเซลล์ ถ้าเซลล์มีดีเอ็นเอถูกทำลายมากเซลล์นั้นจะทำให้มีส่วนหางยาวมาก เซลล์ดีเอ็นเอใดที่ไม่ถูกทำลายก็จะไม่มีส่วนหาง สามารถใช้เป็นวิธีทดสอบเบื้องต้น (screening test of mutagen and carcinogen) ทำได้ทั้งในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ข้อดีของวิธีโคเมท คือ เป็นการทดสอบที่ไม่ยุ่งยากมาก ทำได้รวดเร็วมีความไวสูง ใช้ตัวอย่างเซลล์เพียงเล็กน้อย และทดสอบกับเซลล์ยูคาริโอตได้เกือบทุกชนิด (McCarthy *et al.*, 1997)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า สามารถใช้วิธีโคเมทในการตรวจติดตามและชี้วัดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการจราจรบนท้องถนนหรือมลพิษที่เกิดในบริเวณเตาเผาขยะ พืชที่สัมผัสกับมลพิษถูกทำลายดีเอ็นเอมากขึ้นเมื่อระยะเวลาที่สัมผัสและความเข้มข้นของมลพิษนั้นเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาโดยใช้วิธีโคเมทในการติดตามระดับผลกระทบของก๊าซชีวภาพมีการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ(ประดิษฐา,2550) พบว่าการทำลายดีเอ็นเอมีความสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยได้จากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยและกองมูลฝอยกลางแจ้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยได้ และมีการศึกษาติดตามผลกระทบระดับการทำลายดีเอ็นเอของพืชดั้งเดิมและใช้พลูด่างในการเปรียบเทียบเนื่องจากในการศึกษาการทำลายดีเอ็นเอของพืชจากก๊าซมีเทนมากที่สุดคือใบพลูด่าง จึงนำมาใช้ในการเป็นตัวชี้วัดเพื่อเปรียบเทียบในสถานที่จริงและแบบจำลอง โดยจะนำอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยได้มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระดับการทำลายดีเอ็นเอของพืชดั้งเดิมและพลูด่าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และพัฒนาวิธีการติดตามตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหยจากหลุมฝังกลบมูลฝอย และ บริเวณกองมูลฝอยเปิด ในฤดูฝน และฤดูแล้ง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กระจายก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นจริงจากหลุมฝังกลบ และบริเวณกองเปิด ต่อการทำลายดีเอ็นเอของพืชที่ทำการทดสอบ (พลูด่าง) ในฤดูฝน และฤดูแล้ง

ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการวัดอัตราการแพร่กระจายก๊าซชีวภาพ โดยใช้วิธี close flux chamber method ส่วนสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านหลอดตัวดูดซับ (adsorbent tube)
2. หาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซ บริเวณหลุมฝังกลบ และบริเวณกองเปิด ของเทศบาลนครนนทบุรี (ไทรน้อย) โดยจะวัดในฤดูฝนและฤดูแล้ง
3. พืชที่ใช้ในการทดสอบ คือ พลูด่าง(Epipremnum aureum)
4. ตรวจวัดระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอของพืชด้วยวิธีโคเมท (comet assay)

การตรวจเอกสาร

1. กระบวนการกำจัดมูลฝอยโดยวิธีการฝังกลบ

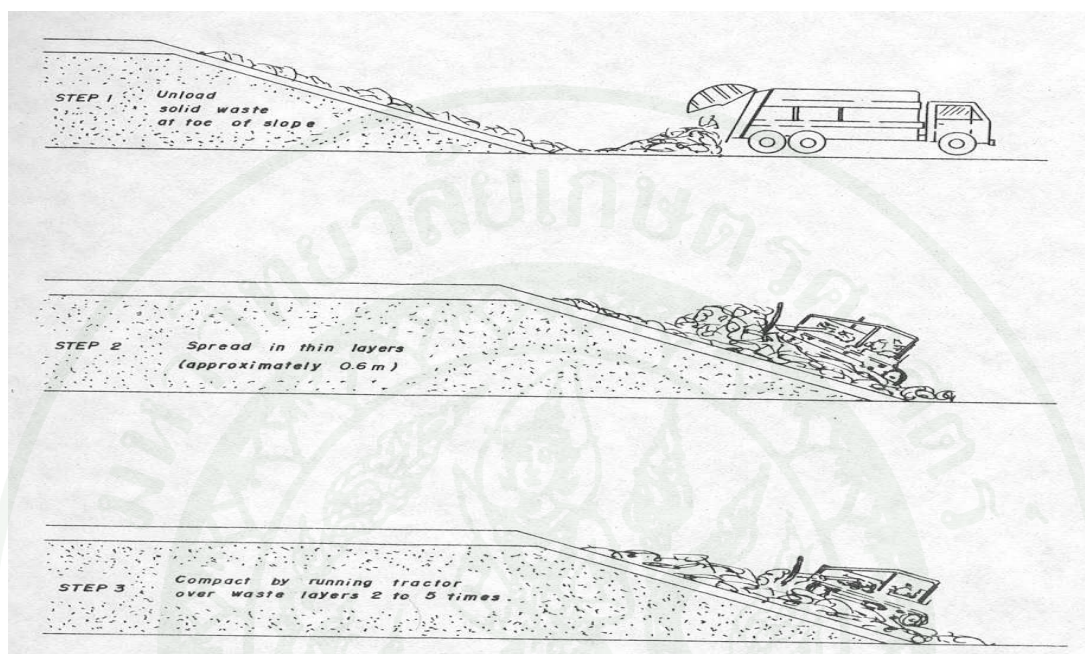
การกำจัดมูลฝอยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้มีอยู่หลายรูปแบบ อาทิเช่น นำไปกองทิ้งบนพื้นดิน (dumping on land) ทิ้งลงทะเล (dumping at sea) ทำปุ๋ยหมัก (composting) เผากลางแจ้ง (open burning) เผาในเตาเผา (incineration) และการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล (sanitary landfill) แต่การกำจัดมูลฝอยที่เหมาะสมมีอยู่ 3 วิธี คือ การเผา การทำปุ๋ยหมัก และวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล ซึ่งวิธีการฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลเป็นการกำจัดมูลฝอยที่นิยมใช้อยู่ในประเทศไทย เนื่องจากต้นทุนและค่าบำรุงรักษาต่ำกว่าวิธีการกำจัดวิธีอื่น

การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลนั้น เป็นการกำจัดมูลฝอยด้วยการนำมูลฝอยมาทิ้งลงในหลุมหรือพื้นที่ซึ่งเตรียมไว้ แล้วทำการบดอัดมูลฝอยด้วยเครื่องจักรกลเพื่อให้มูลฝอยยุบตัวหรือมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นแล้วทำการกลบทับด้วยวัสดุกลบทับ(cover material) ที่เหมาะสม วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล ทำให้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ (Tchobanoglous *et al.*,1993)

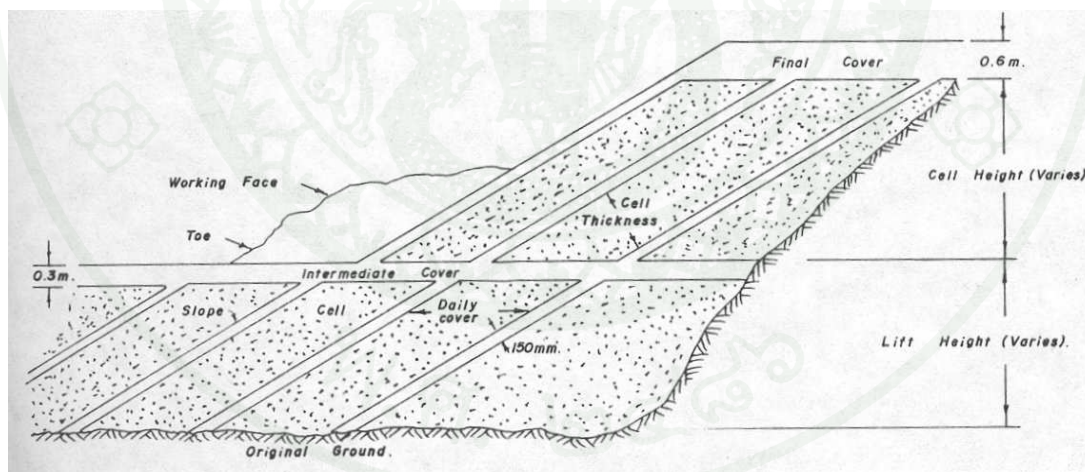
แบบที่ 1 วิธีการฝังกลบแบบกลบบนพื้นดิน(area method) เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับดินเดิมโดยไม่มีการขุดดิน โดยบดอัดขยะตามแนวราบก่อนแล้วค่อยบดอัดทับในชั้นถัดไปจนถึงระดับที่กำหนดไว้ทำคันดิน(embankment or berm) ตามแนวของพื้นที่ก่อนเพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบคัน สามารถป้องกันน้ำเสียที่เกิดจากการย่อยสลาย ไม่ให้น้ำเสีย ซึมออกด้านนอก ดังแสดงภาพที่ 1(ก) การฝังกลบมูลฝอย ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม หรือที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงหรือน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย (ไม่เกิน 1 เมตร) ไม่สามารถขุดดินเพื่อกำจัดด้วยวิธีการกลบบนรูปทรงได้ เพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากขยะต่อน้ำใต้ดิน

แบบที่ 2 วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (trench method) เป็นวิธีการฝังกลบที่เริ่มจากระดับที่ต่ำกว่าระดับดินเดิม โดยการขุดดินลึกลงไปให้ได้ระดับตามที่กำหนดแล้วจึงเริ่มบดอัดมูลฝอยให้เป็นชั้นบาง ๆ ทับกันหนาขึ้นไปเรื่อย ๆ จนได้ความหนาของชั้นมูลฝอยตามที่ต้องการในแต่ละชั้น

โดยทั่วไปความลึกของการขุดร่องควรสูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยยี่ดระดับน้ำใน
ฤดูฝนเป็นเกณฑ์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนต่อน้ำใต้ดิน ดังแสดงภาพที่ 1(ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) วิธีการฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (area method)

(ข) วิธีการฝังกลบแบบขุดร่อง (trench method)

ที่มา: Tchobanoglous *et al.*(1993)

2. ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบ

การเกิดก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

การเกิดก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเปลี่ยนแปลงตามเวลาขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ ความชื้น การบดอัดมูลฝอย สารอาหาร ฯลฯ การเกิดก๊าซสามารถแบ่งช่วงเวลาได้ 5 ระยะดังนี้ (ภาพที่ 2)

ระยะที่ 1 การปรับสภาพเริ่มต้น(initial adjustment phase) เป็นระยะแรกของการย่อยสลาย ซึ่งในระยะนี้จะเป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic condition) เนื่องจากยังมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในหลุมฝังกลบ

ระยะที่ 2 การเปลี่ยนแปลง(transition phase) เป็นระยะที่เกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนเริ่มขาดแคลน กำลังจะเกิดสภาพไร้ออกซิเจน(anaerobic condition) ในระยะนี้จะใช้ไนโตรเจนและซัลเฟตในกระบวนการย่อยสลายเกิดผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซไนโตรเจน(N_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ในระยะที่ 2 นี้ ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยจะเริ่มลดต่ำลงเนื่องจากเกิดกรดอินทรีย์ (organic acid) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ขึ้นในกระบวนการย่อยสลาย

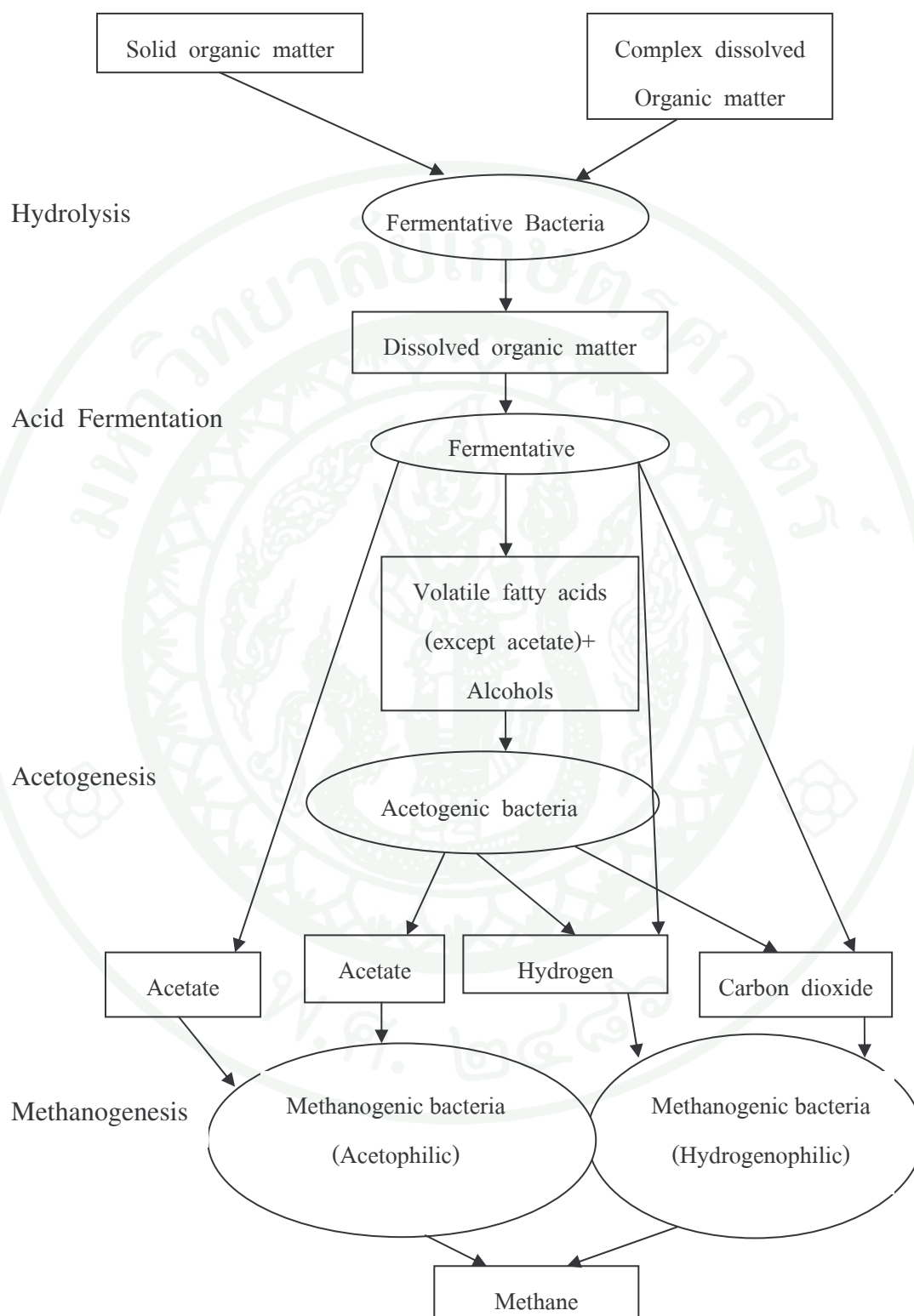
ระยะที่ 3 การสร้างกรด(acid phase) ในระยะนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อย ๆ คือ การเปลี่ยนรูปของสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง(เช่น ไขมัน และ โปรตีน เป็นต้น) ไปเป็นสารประกอบที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและเซลล์คาร์บอนถัดไปเป็นระยะการเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนแรกไปเป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำประเภท กรดอะซิติก(acetic acid) และสารประกอบที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ของกรดฟุลวิก(fulvic acid) และกรดอินทรีย์ประเภทอื่น ๆ ในระยะที่ 3 นี้ก๊าซที่เกิดส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนก๊าซไฮโดรเจน(H_2) จะเกิดเพียงเล็กน้อย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้เรียกว่า facultative and obligate anaerobic bacteria ในระยะนี้ค่าพีเอช (pH) จะลดต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์(organic acid)และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) ส่วนค่าความสกปรกในรูปของบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และค่าการนำไฟฟ้า(conductivity) ของน้ำชะมูลฝอยจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพีเอชที่ต่ำจะทำให้ความสามารถในการละลายของกรดอินทรีย์และธาตุอาหารต่าง ๆ ในน้ำชะมูลฝอยได้ดีขึ้น

ระยะที่ 4 การสร้างมีเทน(methane fermentation phase) จุลินทรีย์ในระบายนี้อาจเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรด(acid forming bacteria)ในระยะที่ 3 ไปเป็นก๊าซมีเทน(CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายนี้เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน(methane forming bacteria) ซึ่งอยู่ได้ในสภาพไร้ออกซิเจนเท่านั้น ในระยะนี้แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดและมีเทนจะทำงานควบคู่กันโดยอัตราการสร้างกรดจะลดลงเรื่อย ๆ ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้น ทำให้โลหะหนักละลายน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยลดลงด้วย

ระยะที่ 5 การบ่ม(maturation phase) ระยะสุดท้ายนี้จะเกิดขึ้นหลังจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว เมื่อความชื้นยังคงหลงเหลืออยู่ในช่องว่างของมูลฝอย อินทรีย์สารที่ยังไม่ได้สัมผัสกับความชื้นจะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนรูปต่อไป ในขั้นตอนนี้อัตราการเกิดก๊าซจะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่เป็นประเภทที่ย่อยสลายยาก ก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ได้แก่ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนน้ำชะมูลฝอยจะมีฮิวมิก(humic) และกรดฟูลวิก(fulvic acid) เป็นองค์ประกอบ เนื่องจาก เป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก

3. องค์ประกอบก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอยโดยทั่วไป ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4), คาร์บอนมอนอกไซด์(CO), แอมโมเนีย (NH_3), ไฮโดรเจน(H_2) ,ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) , ไนโตรเจน(N_2) ในก๊าซที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นมากที่สุดถึงร้อยละ 45 ถึง 60 และร้อยละ 40 ถึง 50 ตามลำดับ(Emcon Associate,1980) และยังพบก๊าซบางชนิดในหลุมฝังกลบมูลฝอย คือ สารประกอบอินทรีย์ระเหย(VOCs) ซึ่งโดยทั่วไป VOCs เป็นสารอันตรายส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของมูลฝอยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1 จุลินทรีย์จะย่อยสลายองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้เกิดก๊าซ คือ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ตามทฤษฎีแล้วมูลฝอย 0.453 กิโลกรัม จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.076 ลูกบาศก์เมตร และก๊าซมีเทน 0.11 ลูกบาศก์เมตร(สำนักการศึกษาความสะอาด,2539)



ภาพที่ 2 การเกิดก๊าซในพื้นที่หลุมฝังกลบ

ที่มา: Yuen *et al.*(1994)

มูลฝอยแห้งและมูลฝอยเปียกจะให้ก๊าซที่เกิดขึ้นมีปริมาณ 0.001 และ 0.006 ลูกบาศก์เมตร ต่อน้ำหนักขยะแห้งตามลำดับ และการเคลื่อนที่ของก๊าซ(migration) ที่เกิดขึ้นตามแนวตั้งอัตรา 0.067 – 0.244 เมตรต่อวัน และอัตรา 0.073 – 0.426 เมตรต่อวัน ตามแนวระดับ (สำนักการศึกษาความสะอาด ,2539)

มีการศึกษาหาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอย (อนุชิต,2547) จะเห็นได้ว่า ผลวัดอัตราการแพร่ระบายอยู่ในช่วง 0.14-5.21 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และจากการศึกษาของ(สุรัตน์,2546) พบว่า อัตราการแพร่ตลอดพื้นที่หลุมฝังกลบ มีอัตราการแพร่สูงสุดเท่ากับ 23.47 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ที่หลุมฝังกลบนครปฐม และวิจารณ์,2543 ได้ทำการศึกษาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนผ่านชั้นดินกลบที่พบว่า อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 82.2 และ 82.2 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

มีการรายงานปริมาณและชนิดของก๊าซที่พบทั้งในบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและนอกบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอย สารระเหยอินทรีย์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภท อัลเคน (alkanes) ไซโคลอัลเคน(cycloalkane) และฮาโลเจน(halogenated compounds) เป็นส่วนใหญ่ (Ward *et al.*,1996) มีการศึกษาอัตราการแพร่ระบายของสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากหลุมฝังกลบมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี พบว่า กองมูลฝอยเปิดมีอัตราการแพร่ระบายของสารอินทรีย์ระเหยในรูปก๊าซของเบนซีนสูงที่สุด มีอัตราเฉลี่ย 160.74 กรัมต่อวัน ก๊าซส่วนใหญ่ที่แพร่ระบายออกสู่บรรยากาศโดยตรงเป็นส่วนใหญ่ คือ เบนซีน เอทิลเบนซีนและไซลีน (มณีรัตน์, 2549) และมีการศึกษาสารอินทรีย์ระเหยที่แพร่ระบายผ่านชั้นมูลฝอยของก๊าซ จากพื้นที่กำจัดมูลฝอยกองเปิด อบจ. นนทบุรี มีการแพร่ระบายของ เบนซีน โทลูอิน โคลิฟอร์ม และ ฟิซีอี ไม่สม่ำเสมอ มีความเข้มข้นในช่วง 0.16-2.64, 0.05-0.30, 2.69-6.72 และ 0.17-1.32 นาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (อันชรีย์, 2547)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของก๊าซในหลุมฝังกลบที่ Lulea

ก๊าซ	มวล จำเพาะ (kg/m ³)	ช่วงจุดติดไฟ ในอากาศ (vol-%)	ส่วนประกอบ ของก๊าซในพื้นที่ ฝังกลบ (vol-%)	คุณสมบัติ
มีเทน	0.717	5 – 15	0 – 85	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ
คาร์บอนไดออกไซด์	1.977	-	0 – 88	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็น พิษที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ
คาร์บอนมอนนอกไซด์	1.250	12.5 – 74	0 – 3	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็น พิษ ไม่ติดไฟ
ไฮโดรเจน	0.090	4 – 74	0 – 3.6	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ เป็นพิษ ติดไฟ
ออกซิเจน	1.429	-	0 – 21	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ
ไนโตรเจน	1.250	-	0 – 82.5	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็น พิษ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	1.539	4.3 – 45.5	0 – 0.00007	ไม่มีสี เป็นพิษ

ที่มา: Maurice and Lagerkvist (1998)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน

พีเอช

แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน (methane forming bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ต้องการสภาวะแวดล้อมรวมทั้งพีเอชที่อยู่ในช่วงระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 เพื่อให้จะให้การผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นโดยทั่วไปการนำพารามิเตอร์ในการควบคุมระบบ ถังหมักแบบไร้ออกซิเจน มาประยุกต์ใช้กับระบบฝังกลบมูลฝอย ดังรายงานของ McCarty (1964) ว่าระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 สำหรับค่าที่เหมาะสมจะประมาณ 7.0 ถึง 7.2 ส่วน Klink and

Ham(1982) รายงานว่าพีเอชที่เหมาะสมควรมีค่าประมาณ 6.8 ถึง 7.5 ในหลุมฝังกลบมูลฝอยเพื่อให้มีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนอย่างสม่ำเสมอ

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง mesophilic มีค่า 30 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส และในช่วง thermophilic มีค่า 55 องศาเซลเซียส ถึง 65 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในช่วง mesophilic และ 55 องศาเซลเซียส ในช่วง thermophilic การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก็นำไปสู่การยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซ Cooney and Wise(1975) ใช้มูลฝอยบดมาทำการหมักที่ระยะเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่าการทำงานของระบบดีขึ้น และให้ปริมาตรของก๊าซมากกว่าช่วง mesophilic ถึงร้อยละ 50

สุรัตน์(2546) จากการศึกษาตรวจวัดอุณหภูมิอากาศและวัดอุณหภูมิหน้าดิน ระหว่างเวลา 8.00-16.00 น. พบว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศและดินอยู่ช่วงเวลา 13.00-14.00 น. ซึ่งอุณหภูมิดินประมาณ 31 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับ methanotroph bacteria ที่ย่อยสลายก๊าซมีเทน (Whalen *et al.*,1990)

ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะทำงานได้เมื่อมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น และจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแช่น้ำดังเช่นในกรณีถังหมักตะกอน (sludge digester) Merz and Stone (1964) พบว่าการลดความชื้นลงต่ำกว่าระดับ ร้อยละ 100 ของน้ำหนักแห้ง หรือร้อยละ 50 ของน้ำหนักเปียก มีผลทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงทั้งในกองมูลฝอยที่ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลในระดับห้องปฏิบัติการจากรายงานของ EMCON Associates(1980) ระบุว่าเมื่อเพิ่มความชื้นให้แก่กองมูลฝอยจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซเพิ่มมากขึ้น ระดับความชื้นที่พอเหมาะอยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 ของน้ำหนักเปียกซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Klink and Ham (1982) ว่าการเพิ่มความชื้นแก่มูลฝอยจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 25-50 และวิจารณ์,2543 ได้ศึกษาพบว่า การแตกของชั้นดิน

กลบทับมูลฝอย เมื่อดินมีความชื้นลดลง ส่งผลให้การแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพสู่บรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นได้

แร่ธาตุ

แบคทีเรียจำพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน(anaerobic bacteria) ก็มีความต้องการสารอาหารจำพวกไนโตรเจน(N), ฟอสฟอรัส(P) และสารอาหารอื่น ๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโต ฉะนั้นการควบคุมสภาวะให้เหมาะสม ก็คือการใส่อาหารเสริมลงไปให้เพียงพอแก่ความต้องการ เพราะว่าของเสียที่จะเข้าสู่ระบบนั้นมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันออกไป McCarty(1964) ได้คำนวณปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ต้องการโดยคิดจากค่าเฉลี่ยของสูตรเคมีของเซลล์ $C_5H_9O_3N$ ซึ่งจะต้องมีไนโตรเจนอยู่ประมาณร้อยละ 11 ของน้ำหนักเซลล์ที่เป็นของแข็งระเหย และต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 1 ใน 5 ของน้ำหนักเซลล์ที่เป็นของแข็งระเหย นอกจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้วยังมีสารชนิดอื่นที่ทำหน้าที่ในการกระตุ้น เมื่อมีความเข้มข้นต่ำ และจะยับยั้งการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นสูงขึ้น

ตารางที่ 2 ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร

ลักษณะสมบัติ	อายุของมูลฝอย	
	3 เดือนถึง 3 ปี	มากกว่า 3 ปี
การย่อยสลาย	เร็ว	ช้า
อัตราการผลิตก๊าซ $CH_4(g/m^2/d)$	229.2	570
อัตราการผลิตก๊าซ $CO_2(g/m^2/d)$	57.6	121.2

ที่มา: สำนักรักษาความสะอาด ,2539

การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล

Borjesson and Svensson (1997) พบว่าการแพร่ระบาดของมีเทนเป็นไปตามลักษณะของฤดูกาล การแพร่ระบาดจะมีมากในระหว่าง เดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤษภาคม และมีอัตราการแพร่ระบาดของมีเทนต่ำเมื่ออยู่ในฤดูร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Christophersen *et al.*

(2001) ซึ่งรายงานว่าการแพร่ระบายนี้อาจแตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิในดินเหมาะสมสำหรับการเกิดกระบวนการย่อยสลายก๊าซมีเทน อย่างไรก็ตามรายงานขัดแย้งกับ Jones and Nedwell (1993) ที่พบว่าอัตราการแพร่ระบายของมีเทนในฤดูร้อนมีมากกว่าในฤดูหนาว Boeckx and Cleemput (1996) ได้ศึกษาการแพร่ระบายก๊าซมีเทนโดยวิธี close flux chamber โดยผลที่ได้จากการวิจัยในภาคสนามดังแสดงในตารางที่ 5

จากข้อมูลพบว่าการแพร่ระบายก๊าซมีเทนสุทธิ (net emission) ต่ำมากและเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ช่วงฤดูร้อน (มิถุนายน – กันยายน) การแพร่ระบายสุทธิของมีเทนต่ำกว่า ช่วงฤดูใบไม้ร่วง (ตุลาคม – ธันวาคม) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยควบคุมอื่น เช่น ความดันบรรยากาศ ความเร็วลม และการควบคุมทางวิศวกรรม ซึ่งความชื้นของดินกลบทับ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบ (Bogner, 1992) และเมื่อความชื้นของดินกลบทับที่เป็นดินเนื้อละเอียด (ดินเหนียว) มากขึ้นทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการแพร่ระบายของก๊าซ (Bogner, 1992; Kjeldsen and Fischer, 1995; Tosh *et al.*, 1994) ซึ่งมีผลในการลดการแพร่ระบายในแนวตั้งของก๊าซในชั้นดินและเพิ่มความดันก๊าซในชั้นมูลฝอย สุรรัตน์(2546) กล่าวว่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซสูงสุดในฤดูฝนและต่ำสุดในช่วงฤดูแล้งช่วงเดือนมีนาคม

มีการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซจากแปลงทดลองหลุมฝังกลบมูลฝอยที่แพร่ระบายผ่านชั้นหลุมฝังกลบมูลฝอยที่ระดับความลึกต่าง ๆ พบว่า องค์ประกอบก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกโดยที่องค์ประกอบของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก และการแพร่ระบายของก๊าซผ่านชั้นกลบทับมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล คือ องค์ประกอบก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยในฤดูฝนสูงกว่าฤดูหนาว และฤดูร้อน ตามลำดับ องค์ประกอบก๊าซมีเทนที่แพร่ระบายผ่านชั้นดินกลบทับมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) เฉลี่ยร้อยละ 40.3 – 60.3 โดยปริมาตร ในช่วงฤดูหนาว (ตุลาคม-มกราคม) เฉลี่ยร้อยละ 30.0 – 51.9 โดยปริมาตร ในช่วงฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-เมษายน) เฉลี่ยร้อยละ 33.8 – 61.8 โดยปริมาตร และการประเมินอัตราการแพร่ระบายมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นดินกลบทับจากท่อระบายก๊าซได้สูงสุดในช่วงฤดูร้อน รองลงมาคือฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ พิมลรัตน์(2544) และอนุชิต(2547) ได้ศึกษาอัตราการแพร่ระบายตามฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูแล้งจะมีอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนสูงกว่าฤดูฝน 1.5-4.2 เท่า เช่นเดียวกับอัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝน 1.4-10.6 เท่า

การเปลี่ยนแปลงของความดันบรรยากาศ

Christophersen *et al.* (2001) รายงานว่าความดันบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้อัตราการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพลดลง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความดันในหลุมฝังกลบมูลฝอยกับบรรยากาศลดลง

การเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน

Borjesson and Svensson (1997) พบว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างวันมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายระหว่างกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างที่เห็นได้ชัด โดยวัดที่เวลา 13.00 น. และเวลา 21.00 น. มีอัตราการแพร่กระจาย 82.56 และ 163.2 กรัม มีเทนต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างวัน เช่นเดียวกับ Bogner (1992) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันของการปลดปล่อยมีเทนจากหลุมฝังกลบมูลฝอย ซึ่งศึกษาในช่วงสั้น ๆ พบว่าช่วงกลางวันและช่วงกลางคืน การแพร่กระจายแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่แตกต่างในช่วงเวลาดังกล่าว

ตารางที่ 3 อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ของชั้นมูลฝอย

Point	Methane emission rate g/m ² /d		Carbon dioxide emission rate g/m ² /d	
	Rang	Average	Rang	Average
A	2.26-54.29	20.74	37.51-21.25	132.99
B	0-0.4.84	0.94	34.91-132.72	61.61
C	0-6.07	1.51	42.49-106.89	62.28
D	5,51-88.94	40.05	140.24-348.01	218.62

ที่มา: สุรัตน์ (2546)

การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

การวัดการแพร่กระจายของก๊าซในหลุมฝังกลบมูลฝอย ที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยใน Alachua County, Florida พบว่า อัตราการผลิตก๊าซเป็น 2 เท่า เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยเทียบกับที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย คือ 0.0236 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมต่อปี และ 0.0096 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ (Palumbo, 1995) ส่วน Klink and Ham (1982) ได้ทำการวิจัยหมักมูลฝอยชุมชนด้วยการป้อนมูลฝอยครั้งเดียว พบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนจะเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 25 – 50 จากถังที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่ไม่มีการหมุนเวียน

การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทำให้มีการเพิ่มอัตราการทรุดตัวของหลุมฝังกลบมูลฝอยโดยการศึกษาใน Sonoma County, California หลุมฝังกลบที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทรุดลงเป็นร้อยละ 20 ของความลึกขยะมูลฝอย ส่วนหลุมฝังกลบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทรุดน้อยกว่าร้อยละ 8 (Leckie *et al.*, 1979) เช่นเดียวกับ Buivid *et al.*, 1981 พบว่าหลุมฝังกลบมูลฝอยทดลองที่ mountain view landfill, California หลุมฝังกลบมูลฝอยเปียกมีการทรุดตัวประมาณร้อยละ 13 – 15 ส่วนหลุมฝังกลบมูลฝอยแห้งมีการทรุดตัวเพียงร้อยละ 8 – 12 ตลอด 4 ปี

ตารางที่ 4 ข้อมูลการปฏิบัติการการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบมูลฝอย

สถานที่	ปริมาณน้ำชะ มูลฝอยที่ผลิต (m ³ /ha/day)	ปริมาตรหมุนเวียน น้ำชะมูลฝอย (m ³ /ha/day)	ประสิทธิภาพ เก็บกัก (m ³ /ha)	ปริมาตร บำบัด (m ³ /ha/day)	พื้นที่ ออกแบบ area(ha)	พื้นที่ที่ ใช้ ปัจจุบัน (ha)
Alachua Country	7.8	4.3	124	4.3	11	11
Worcester Country	2.6	2.1	220	0.64	6.9	6.9
Winfield Country	19	13.8	66.8	0.55	2.8	2.8
Pecan Row	2.7	1.1	689	0	16	4.5
Lower Mt. Washington Valley	14.6	9.5	11.7	4.2	3.2	0.45
CRSWMA Landfill	16.6	11.7	1600	0	8.9	5.7
Lemons Mill Seat	2.2	5	108	-	30	-
- Test Cell 2	2.8	6.8	35	-	2.8	-
- Test Cell 3	2.8	5.2	41	-	2.2	-

ที่มา: Reinhart (1996)

5. ปัจจัยที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชในบริเวณฝังกลบมูลฝอย

พืชที่เจริญในแต่ละพื้นที่ฝังกลบจะมีลักษณะ และชนิดแตกต่างกันไปตามสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ ส่วนใหญ่พบว่า พืชในพื้นที่ฝังกลบจะเจริญเติบโตช้า เนื่องจากก๊าซที่แพร่จากพื้นที่ฝังกลบ ความแห้งแล้ง และการบดอัดดิน ซึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช การศึกษาพืชที่เจริญในพื้นที่ฝังกลบของฮ่องกง พบว่า ความเข้มข้นของมีเทน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีนและตะกั่ว มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช Moffat and Houston (1991) พบว่าเมื่อเปลี่ยนความหนาของวัสดุกลบทับจาก 0.2 เมตร เป็น 1.5 เมตร ช่วยลดผลกระทบของก๊าซที่แพร่ต่อพืช ทำให้พืชสามารถเติบโตและรอดชีวิตได้ (Wong and Yu, 1989) และจากการศึกษาของ สุรัตน์(2546) สรุปได้ว่าการรคน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นเหมาะสมสามารถช่วยในการเจริญเติบโตของพืชได้

ความเข้มข้นของออกซิเจน

Gendebien (1992) พบว่าก๊าซที่แพร่จากพื้นที่ฝังกลบส่งผลทำให้รากพืชขาดออกซิเจน และยังช่วยกระตุ้นให้บริเวณรากผลิตสารประกอบที่เป็นพิษต่อ เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ใบพืชมีลักษณะซีดเหลือง เนื่องจากคลอโรฟิลล์สังเคราะห์อาหารน้อยลง Maurice and Langerkvist (1997) รายงานว่า ความเข้มข้นออกซิเจนเหลือเพียงช่วงร้อยละ 5 – 10 ในพื้นที่ฝังกลบจะเริ่มส่งผลจะเริ่มส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในหน้าดินกลบทับมูลฝอย

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง โดยมีช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมประมาณ 0.04 – 2 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยมีปริมาณสูงมากซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพืช แม้ว่าปริมาณออกซิเจนในดินเพียงพอ ปริมาณความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลกระทบต่อสังเคราะห์แสงและระบบการหายใจของพืช Gendebien (1992)

ความเข้มข้นของมีเทน

Flower *et al.* (1981) พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทนช่วยกระตุ้นความต้องการก๊าซออกซิเจนของพืช เนื่องจากพืชต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการชอนไชราก กล่าวโดยสรุปได้ว่าความเข้มข้นของออกซิเจน และการบอนด์ออกไซด์มีผลต่อพืชโดยตรงมากกว่าก๊าซมีเทน โดยก๊าซมีเทนจะส่งผลกระทบต่อพืช เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทน ทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินน้อยลง ทำให้รากพืชขาดออกซิเจน นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนทำให้ดินมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Gendebien, 1992 ; Leone *et al.*, 1977; Moffat and Houston, 1991) สำหรับในประเทศไทย ได้มีการศึกษาของอนุชิต, 2547 พบว่า ดินกลบทับมูลฝอยมีความสามารถในการลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนได้แตกต่างกัน โดยพบว่ากลไกการลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนในหน้าดินร่วนปนทรายที่มีการปลูกพืชเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทน และกิตติพล (2547) ทำการรดหน้าดินที่ปลูกหญ้าโคสโครสดด้วยน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้น 20% ในปริมาณ 200 มล. ทุก 4 วัน ส่งผลให้มีปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทนสูงสุด

6. การตรวจวัดมลพิษโดยใช้พืช (Bio monitoring)

สิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง ต่อเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมเป็นพิเศษนั้น จะเรียกว่า สิ่งมีชีวิตบ่งชี้ในสิ่งแวดล้อม เช่น ในแม่น้ำ ทะเล ซึ่งส่วนใหญ่จะนำสัตว์ เช่น ปลา มาใช้เป็นสิ่งมีชีวิตบ่งชี้ แต่สำหรับสิ่งแวดล้อมบนบกนั้นมักจะใช้พืชเป็นสิ่งมีชีวิตบ่งชี้ ซึ่งสามารถทำได้สะดวกกว่าใช้สัตว์ เกี่ยวกับมลพิษอากาศ เริ่มมีการทดลองที่จะใช้พืชบ่งชี้ในการตรวจวัดมลพิษทางอากาศมากขึ้น

ในการกล่าวถึงระดับความปนเปื้อนโดยวิธีใช้สิ่งมีชีวิตจะเป็นแบบเชิงคุณภาพ (qualitative) ไม่สามารถแสดงผลเชิงปริมาณเช่นเดียวกับเครื่องตรวจวัดตามหลักการทางฟิสิกส์และเคมีได้ แต่สามารถเก็บข้อมูลการเพิ่มขึ้นของภาวะมลพิษสิ่งแวดล้อมในพื้นที่กว้างอย่างต่อเนื่องและยาวนาน นอกจากนี้ยังตรวจวัดภาวะมลพิษเชิงซ้อนในภาพรวมได้ ในการเลือกใช้พืชเป็นดัชนียังมีประโยชน์ในการนำมาใช้จำแนกประเภทของสารมลพิษได้อีกด้วย

การใช้พืชบ่งชี้เพื่อแสดงภาวะมลพิษอากาศนี้ ต้องสังเกตสภาพความเสียหายของพืชซึ่งใช้เป็นดัชนีที่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติในพื้นที่ซึ่งมีภาวะมลพิษ ซึ่งจะช่วยให้รู้ถึงระดับของมลพิษได้จากการเปรียบเทียบกับพืชชนิดเดียวกันที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ซึ่งไม่มีมลพิษ หรือด้วยการนำพืชดัชนีที่เหมาะสมซึ่งมีความไวต่อสารก่อมลพิษตามที่ต้องการเข้าไปปลูกโดยตรงหรือใส่กระถางนำไปวางในพื้นที่ที่มีปัญหา เพื่อทำการสังเกต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

การตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ใบไม้พืชไม่มีระบบขับถ่ายในลักษณะเดียวกับสัตว์ เกือบไม่มีการขับสารมลพิษที่ดูดซึมเข้าไปภายในลำต้นออกทางรากเลย โดยทั่วไปสารพิษส่วนใหญ่จะคงสะสมอยู่ในจุดที่ดูดซึมเข้าไปหรือจุดใกล้เคียงการนำลักษณะเช่นนี้ของพืชมาใช้ ประโยชน์ก็คือการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบไม้ ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบสารมลพิษได้จากความเกี่ยวข้องเชิงปริมาณขององค์ประกอบเป้าหมาย แต่วิธีนี้ไม่อาจนำมาใช้กับสารมลพิษได้ทุกชนิด โดยทั่วไปต้ององค์ประกอบของสารที่ต้องการตรวจหาเป็นสิ่งแปลกปลอมสำหรับพืชก็จะยังทำให้ตรวจหาได้ง่าย และเป็นวิธีที่ใช้ได้ดี ตามปกติในพื้นที่ซึ่งมีภาวะมลพิษอากาศ จะมีการเก็บตัวอย่างใบพืชที่แสดงอาการของความเสียหาย โดยใช้พืชชนิดเดียวกันในตระกูลเดียวกัน จากหลาย ๆ จุดเป็นจำนวนหลายร้อยกรัม โดยให้ครอบคลุมทั้งอายุของใบและตำแหน่งของใบบนต้น ขณะเดียวกันก็ต้องมีการเก็บใบไม้ปกติจากพื้นที่ซึ่งไม่มีภาวะมลพิษ จำนวน 2-3 แห่งจาก ตำแหน่งเดียวกันบนต้นมาเป็นตัวอย่างสำหรับเปรียบเทียบกับจากนั้นก็นำตัวอย่างเหล่านี้ไปทำให้แห้งและบดเพื่อวิเคราะห์หา

ตัวอย่างเช่น ฟลูออไรด์ซึ่งมีการสะสมอยู่ในใบพืชเพียงเล็กน้อย ตามปกติจะมีค่าน้อยกว่าหลักสิบส่วนในล้านส่วน (ppm) องค์ประกอบที่ต้องการ สำหรับใบไม้แห้ง และมีลักษณะพิเศษคือจะไปสะสมอยู่ที่ปลายใบและของใบ ในการตรวจหาสภาพมลพิษอากาศเนื่องจากสารประกอบฟลูออไรด์ โดยการนำใบไม้มาวิเคราะห์องค์ประกอบสารฟลูออไรด์จึงมีประโยชน์มาก และการวิเคราะห์ใบไม้สำหรับกำมะถันซึ่งถึงแม้จะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ดีเท่าฟลูออไรด์ แต่ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาภาวะมลพิษอากาศที่เกิดจาก SO_x คลอรีนและก๊าซคลอรีนหรือไฮโดรเจนคลอไรด์ได้ นอกจากนี้การวิเคราะห์ใบไม้สำหรับกรณีที่มีสารมลพิษที่เป็นอนุภาคซึ่งรวมถึงโลหะหนักเช่น แคดเมียมแมงกานีส ตะกั่ว มีการเกาะติดที่ผิวใบหรือถูกดูดซึมเข้าไปในใบการวิเคราะห์ใบไม้เพื่อตรวจหาสารโลหะหนักเหล่านี้ก็ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5 ผลความเข้มข้นของก๊าซต่อพืช

พืชที่ศึกษา	%O ₂	%CO ₂	%CH ₄	ผลกระทบต่อพืช
Apple tree	5 – 10	-	-	เจริญเติบโตช้า
Red raspberry	10	-	-	เจริญเติบโตช้า
Black raspberry	10	-	-	เจริญเติบโตช้า
Tomato (Lycopersion esculentum)	-	18	-	ส่วนต่าง ๆ ของพืชเสียหาย
Tomato (Lycopersion esculentum)	20	-	-	เจริญเติบโตผิดปกติ
Tomato (Lycopersion esculentum)	7	-	-	เจริญเติบโตผิดปกติ
Tomato (Lycopersion esculentum)	7	-	45	เจริญเติบโตผิดปกติ
Tomato (Lycopersion esculentum)	7	34	-	พืชตาย
Tomato (Lycopersion esculentum)	17	18	-	พืชตาย
Pea seed (Pisum sativum L.)	-	1	-	พืชตาย
Barley (Hordeum vulgare L.)	-	20	-	เจริญเติบโตผิดปกติ
Cotton seed	7.5	10	-	เจริญเติบโตผิดปกติ
Cotton seed	-	30 – 45	-	พืชตาย
Broad bean	-	5.5	-	ส่งผลกระทบต่อรากพืช
Kidney bean	-	5.5	-	ส่งผลกระทบต่อรากพืช
Red Maple (Acer rubrum)	3	40	50	เจริญเติบโตช้า
Sugar Maple (Acer rubrum)	3	40	50	เจริญเติบโตช้า
Cystitis racemosis	11.5	15	22	พืชตาย

ที่มา: Maurice and Langerkvist (1997)

7. การวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบมูลฝอย

อัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น flux chamber method และ micrometeorological method แต่วิธีที่นิยมใช้ในการวัดอัตราการแพร่ระบายก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบมูลฝอย คือ วิธี flux chamber

flux chamber method ที่ใช้ในการวัดอัตราการแพร่ระบายของก๊าซสามารถแบ่งได้ 2 แบบ (Hettiaratchi, 1996) คือ open flux chamber method และ close flux chamber method

1) Open flux chamber or dynamic chamber เป็นวิธีการวัดอัตราการแพร่ระเหยของก๊าซโดยที่อากาศหรือก๊าซที่อยู่ภายนอก chamber ไหลเข้าและไหลออกใน chamber ได้ และทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซและอัตราการไหลของก๊าซที่ไหลเข้าและออก การวัดอัตราการแพร่ระเหยของก๊าซนี้ สภาพของอากาศจะมีอิทธิพลในการวัดความเข้มข้นของก๊าซ เพราะฉะนั้นการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำมาวิเคราะห์จะต้องเป็นวิธีหรือมีเครื่องมือเฉพาะ และการวัดต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

ข้อดี สามารถเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่อง ปรับสภาพภายใน chamber ให้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพภายนอก chamber

ข้อเสีย มีความไวต่อความดันที่เปลี่ยนไปใน chamber เนื่องจากก๊าซภายนอกที่เข้ามา ทำให้ค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าความเป็นจริง (แก้โดยการเพิ่มขนาดของทางที่ก๊าซเข้าให้มีขนาดใหญ่กว่าทางที่ก๊าซออก) อุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการมีราคาสูง ต้องการข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ เช่น ประสิทธิภาพการผสม อัตราการไหลของก๊าซในขณะที่เก็บก๊าซ

2) Close flux chamber or static chamber เป็นการวัดอัตราแพร่ระเหยจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซที่แพร่ออกมา ก๊าซที่อยู่ภายนอก chamber ไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาได้ เพื่อรวบรวมก๊าซ ความเข้มข้นของก๊าซที่เหมาะสมใน chamber จะเพิ่มขึ้น ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่กำหนดเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและเวลา

ข้อดี สามารถวัดก๊าซได้ในกรณีที่ก๊าซมีปริมาณน้อย ไม่ต้องใช้พลังงานในการปฏิบัติการ สะดวกในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ ก๊าซที่อยู่ใน chamber จะไม่ถูกรบกวนจากก๊าซที่อยู่ภายนอกเกิดการผสมอย่างทั่วถึง สามารถตรวจวัดในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก

ข้อเสีย เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิของก๊าซในดินเนื่องจากการฝัง chamber จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน อาจเกิดการปนเปื้อนหรือการผสมของก๊าซตรงรอยต่อระหว่าง chamber กับชั้นดินถ้าไม่มีการอุดรอยต่อให้ดี การที่ก๊าซถูกเก็บสะสมไว้ใน chamber ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเพิ่มมากขึ้นทำให้เวลาวัดความเข้มข้นของก๊าซเกิดการคลาดเคลื่อน

อัตราการแพร่ระบายของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยสามารถหาได้ โดยการนำ chamber มาฝังครอบตรงบริเวณที่ต้องการศึกษา ก๊าซที่ระบายออกมาจะสะสมอยู่ใน chamber แล้วเก็บก๊าซมาในช่วงเวลาที่กำหนดแล้วนำก๊าซมาวิเคราะห์หาความเข้มข้น แล้วนำค่ามาคำนวณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับเวลาดังแสดงภาพที่ 3 จะนั้นสามารถหาอัตราการระบายของก๊าซสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ (Hettiaratchi, 1996)

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

โดยที่

F คือ อัตราของก๊าซที่ระบายออกมาต่อพื้นที่ต่อเวลา, $g/m^2.s$

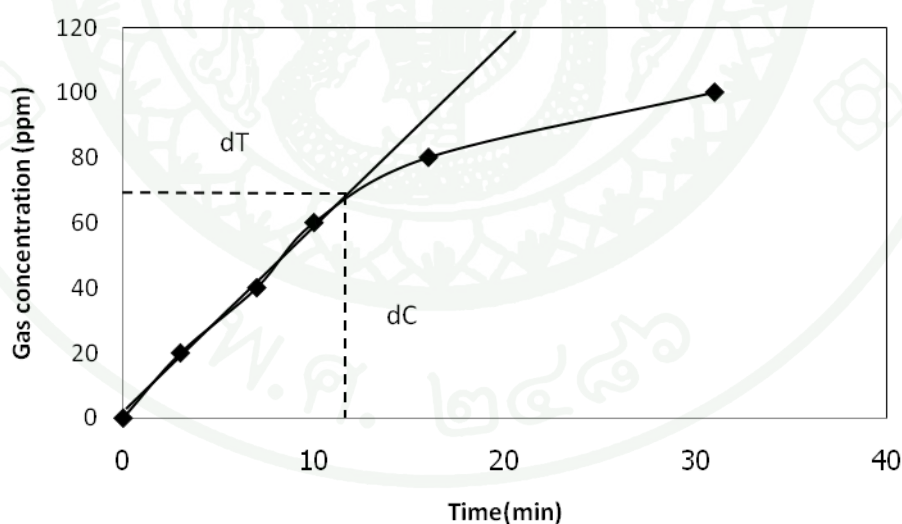
ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซ, kg/m^3

V คือ ปริมาตรของ Chamber, m^3

A คือ พื้นที่หน้าตัดของ Chamber, m^2

ΔC คือ ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง, ppm

Δt คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ, s



ภาพที่ 3 กราฟความเข้มข้นมีเทนกับเวลา

ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการวัดโดยใช้ close flux chamber สามารถแก้ไขได้โดยการทำให้บังแดดให้กับ chamber ส่วน Borjesson and Svensson(1997) พบว่า อุณหภูมิใน chamber เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส ในการวัดวิธีดังกล่าว

Mathias *et al.*(1980) พบว่าก๊าซที่อยู่ใน chamber ผสมอย่างทั่วถึง โดยทดลองติดตั้งพัดลมขนาดเล็กไว้ใน chamber ในขณะที่อีกใบหนึ่งไม่ได้ติดตั้งพัดลมเมื่อนำก๊าซมาวิเคราะห์ ปรากฏว่าไม่พบความแตกต่างกัน รอยต่อระหว่าง chamber กับหน้าดินเป็นจุดที่มีการรบกวนอย่างที่ไม่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เพื่อเป็นการลดการรบกวนนี้ chamber ควรมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่กับเส้นรอบวงสูง chamber วงกลมให้อัตราส่วนดีที่สุดเมื่อเทียบกับทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงสามเหลี่ยม (Maurice and Lagerkvist , 1998)

จากการทดลองโดยใช้วิธีต่างๆ ในการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่ระบายออกมาจากหลุมฝังกลบมูลฝอยต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.003 ถึง 3000 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (Lagerkvist ,1995 ; Bogner and Scott, 1995) ตารางที่ 6 สรุปการวัดการแพร่ระบายของมีเทนในพื้นที่ต่างๆ โดยใช้วิธี close flux chamber

สุรตน์(2546) ได้ศึกษาอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้วิธี close flux chamber ของหน้าดินชนิดต่างๆ ของสถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2545 (162 วัน) พบว่าก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีอัตราการแพร่ระบาย อยู่ในช่วง 0-111.92 และ ช่วง 0-143.67 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้อัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหน้าดินชนิดที่ 1-6 ซึ่งเป็นดินเหนียว พบว่ามีอัตราการแพร่ระบายต่ำ ยกเว้นกรณีที่หน้าดินแตกของหน้าดินชนิดที่ 2 ดินเหนียวรดด้วยน้ำ (C+W) สัปดาห์แรก ส่วนอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหน้าดินชนิดที่ 7-12 ซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย พบว่า อัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับหน้าดินที่เป็นดินเหนียว แต่อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของดินร่วนปนทรายส่วนใหญ่สูงกว่าดินเหนียว 2-3 เท่า

ตารางที่ 6 สรุปการวัดการแพร่ระบายของมีเทนในพื้นที่ต่างๆ โดยวิธี close flux chamber

สถานที่	$CH_4 (g / m^2 / d)$		ขนาดของ Chamber	หน้าดินกลบทับ	ขนาดพื้นที่ (ha)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด			
Hokhuvud, Swenden	0.013-7.68	18.43	สี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านละ 27.5 cm	ดินร่วนปนทราย	1.6
Schototen, Belgium	-0.005-0.914	-	เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm , สูง 60 cm	ดินร่วนปนทราย	0.5
Skellingsted, Denmark*	<0.192-9.6	72.57	เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm , สูง 20 cm	-	-
Nashua Four Hills ,USA	44.93	1494.9	สี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านละ 60 cm	ดินร่วนปนดินเหนียวและดินทราย	35.5
UK , several sites*	0.8217	5.184	-	-	-
Martin Farm , UK*	21.8-39.9	-	-	-	-
Lulea , Swenden*	0-2.01	5.33	-	-	-
Schoten , Belgium*	0.007-0.92	-	เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm , สูง 60 cm	ดินร่วนปนทราย และดินร่วนคลุมด้วยหญ้า	เล็ก
Hogbytorp , Swenden	0.96	3.2	-	-	-
Malmo , Swenden	2.24	5.76	-	-	-
Helsingborg , Swenden	0.256	0.96	-	-	-
Nonthaburi	1.19	-	ปริมาตร 0.049 ลูกบาศก์เมตร	ดินเหนียว	เล็ก

ที่มา: Boeckx and Cleemput(1996) ; Borjesson and Svensson(1997) ; Mosher *et al.* (1996); สุรัตน์(2546)

8. ประเภทของสารอินทรีย์ระเหย

ออกตามลักษณะของโมเลกุล เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ประกอบด้วย aliphatic hydrocarbons (เช่น fuel oils, ก๊าซโซลีน(gasoline) ,hexane , industrial solvents, ในอุตสาหกรรม alcohols, aldehydes, ketone, hexane) และกลุ่มสาร aromatic hydrocarbons (เช่น สารตัวทำละลาย toluene, benzene, ethylbenzene, xylenes, styrene, phenol) สาร VOCs กลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้กองขยะ พลาสติก วัสดุ สารตัวทำละลาย สีทาวัสดุ เป็นต้น มีผลเสียต่อสุขภาพ ดังนี้ พนักงานดับเพลิง คนงานเผาขยะ คนเผาถ่าน มักป่วยด้วยโรค ทางเดินลมหายใจบ่อย เพราะได้รับ VOCs ประมาณ 144 ชนิด เป็นประจำจากควันไฟและเชื้อเพลิง ในรูปของ benzene, toluene, naphthalene propene, และ 1,3-butadiene, styrene และ alkyl-substituted benzene compounds อื่นๆ xylenes, 1-butene/2-methylpropene, propane, 2-methylbutane, ethylbenzene, naphthalene, isopropylbenzene รวมกันในปริมาตรสูงถึงร้อยละ 76.8 ของ VOCs ทั้งหมดที่วัดได้ (Austin CC, Wang D., 2001)

2. Chlorinated Vocs หรือ halogenated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรมสาร chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก (non-chlorinated VOCs) เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมาก ขากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ ทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือโดยทางวิธีเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงและสะสมได้นาน สลายตัวทาง ชีวภาพได้ยาก รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม หรือ ขยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ (Cockerham, LG, 1994)

ตารางที่ 7 ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบได้ในสิ่งแวดล้อม

สารอินทรีย์ระเหยที่พบในสิ่งแวดล้อม		
1,1,1,2-Tetrachloroethane	Bromofor	Glycerol trichlorohydrin
1,1,1-Trichloroethane	Bromomethane	Hexachlorobutadiene
1,1,2,2-Tetrachloroethane	Carbon tetrachloride	Hexachlorocyclopentadiene
1,1,2-Tetrachloroethane	Chlorodibromomethane	Hexachloroethane
1,1-Dichloroethane	Chloroethane	Methylene chloride
1,1-Dichloroethylene	Chloroform	Neoprene
1,2,2-Trifluoroethane (Freon 113)	Chloromethane	Pentachloroethane
1,2-Dichloroethane	Chloropropane	Perchloroethylene
1,2-Dichloropropane	Cis-1,2-dichloroethylene	Propylene dichloride
1,2-Trans-dichloroethylene	Cis-1,3-dichloropropene	Trichlorotrifluoroethane
1,3-cis-dichlor-1-propene	Dibromchloropropane	Monochlorobenzene
1,3-trans- dichlorpropene	Dibromomethane	Tetrachloroethylene (Perchloroethylene) (PCE)
1-chloro-2-propene	Dichlorobromomethane	Trichloroethylene (TCE)
2-butylene dichloride	Dichloromethane(DCM)	Vinyl chloride
Acetylene tetrachloride	Ethylene dibromide	Vinyl trichloride
Bromodichloromethane	Fluorotrichloromethane (Freon 11)	Vinylidene chloride

ที่มา: Andelman (1985)

9. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซในบรรยากาศ

การเก็บตัวอย่างก๊าซที่แหล่งแพร่กระจาย (source sampling) คือ การวัดความเข้มข้นของก๊าซจากกองมูลฝอย สามารถวัดได้หลายตำแหน่ง เช่น จากท่อรวบรวมก๊าซ (passive vents) และใช้ probe วัดความเข้มข้นได้ผิวกอง เป็นต้น โดยการเก็บตัวอย่างก๊าซจากระบบรวบรวมก๊าซแบบ active และ passive จะให้ข้อมูลองค์ประกอบของก๊าซซึ่งแตกต่างกันไปจาก องค์ประกอบที่แพร่กระจายสู่อากาศ เนื่องจากระบบรวบรวมก๊าซทั้ง 2 ระบบจะรวบรวมก๊าซจากหลายความลึกได้ หลุมฝังกลบ ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะไม่ผ่านกิจกรรมทางชีวภาพ ปฏิกิริยาทางเคมี และการดูดซับภายในหลุมฝังกลบ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพจากระบบรวบรวมจะมีปริมาณ มีเทน และก๊าซอื่นมากกว่า และเป็นที่ทราบดีว่า การเกิด methane oxidation ในช่องว่างของดิน ดังนั้นการเก็บตัวอย่างจากระบบรวบรวมก๊าซจะไม่ใช้ ประเมินค่าการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพสู่บรรยากาศ

อีกวิธี คือ การใช้ probe จุ่มลงไปในดิน เพื่อเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นตัวแทนองค์ประกอบก๊าซที่แพร่กระจายสู่บรรยากาศได้ดีกว่า สำหรับวิธีที่ยอมรับสำหรับการวัดองค์ประกอบและการวัดอัตราการแพร่กระจาย เช่น active collection system, static chamber method และ concentration gradient method เป็นต้น (Bogner *et al.*, 1997)

การวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซในหลุมฝังกลบ LFG จาก active collection system สามารถทำได้ง่ายแต่จะไม่สามารถเป็นตัวแทนของก๊าซทั้งหมดที่ออกมาและแพร่กระจายจากหลุมฝังกลบ โดยการแพร่กระจายดังกล่าวได้รับอิทธิพลมาจากการใช้ปั๊มดูดอากาศจากภายในหลุมฝังกลบ ซึ่งจะรวบรวมนสถานะสมดุลการระเหยของก๊าซ รวมทั้งปริมาณของอัตราการแพร่กระจายจะไม่เป็นตัวแทนเนื่องจากไม่ผ่านการดูดซับ ปฏิกิริยาเคมี และกระบวนการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ ซึ่งไม่มีในระบบ active collection system ทั้งนี้อัตราการแพร่กระจายจาก active collection system อาจเป็นตัวแทนของอัตราแพร่กระจายจากหลุมฝังกลบได้หากการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของก๊าซบริเวณผิวเป็นศูนย์

วิธี static chamber method จะมีความเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในการวัดอัตราการแพร่กระจายโดยตรงที่ง่ายในการดำเนินงาน สามารถลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนที่มาจาก

แหล่งอื่น เช่น โรงงานใกล้เคียง หรือ ระบบบำบัดอื่น รวมทั้งการรั่วไหลของก๊าซธรรมชาติ อย่างไรก็ตามมีหลายวิธีในการวิเคราะห์อัตราการแพร่กระจาย การเลือกวิธีการจะอยู่บนพื้นฐานตามข้อกำหนด ความพร้อมของอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 8 วิธีการวัดองค์ประกอบและอัตราการแพร่กระจายของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน

วิธีการ	พารามิเตอร์	หลักการ
Active system	LFG Composition and Flux	ต้องเก็บและวิเคราะห์อัตราการไหล
Tracer Method	LFG emission rate from entire landfill	ต้องรู้อัตราการปลดปล่อย (Q_t) ของ SF_6 หรือ N_2O วัดความเข้มข้น $SF_6(C_t)$ และ LFG(C) โดยใช้สูตร $Q_c =$
Static chamber method	Flux and LFG Composition	$Q_t \cdot (C/C_t)$ ต้องไม่มีการรั่วไหล วัด dc/dt รู้ขนาดของ chamber จำนวนตัวอย่าง
Below covers sample probe	LFG Composition	มากกว่า 100 ขึ้นไป เสียบ probe ได้ผิวกอง หรือ สายเก็บ
Passive system sample ports	LFG Composition	ตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์ ต้องเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง
Micrometeorological	Flux across large surface area in a landfill	ต้องวัดความเร็วลมในแนวดิ่ง , ความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซที่แปรปรวนเหนือพื้นผิว , ใช้สมการทาง
Subsurface gradient technique	Measure flux and concentration	คณิตศาสตร์ในการคำนวณอัตราการแพร่กระจาย วัด soil gas ที่ความลึกต่าง ๆ (dc/dx) , Effective diffusion coefficient โดยใช้ Fick's law คำนวณอัตราแพร่กระจาย

ที่มา: Walkes *et al.*(1992) ; Eklund *et al.* (1998) ; Mosher *et al.* (1999) ; Bogner *et al.*(2000)

วิธีการเก็บตัวอย่าง (sampling techniques)

การเก็บตัวอย่างก๊าซแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Capture techniques และ concentration techniques (Rafson *et al.*, 1998) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Capture techniques ก๊าซจะถูกเก็บบริเวณจุดทางออกที่ระบบรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบ วิธีนี้เหมาะสำหรับสารที่มีความคงตัวและมีความดันไอสูงที่อุณหภูมิปกติ สามารถเก็บก๊าซในปริมาณมากและต่อเนื่องในหลายช่วงเวลา ซึ่งลดความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในภาคสนาม ซึ่งวิธีนี้จะหลีกเลี่ยงขั้นตอนการดูดซับและการ sorption-desorption ช่วยลดการปนเปื้อน แต่อาจได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาการดูดซับของก๊าซที่ผนังของภาชนะเก็บก๊าซที่ผนังของภาชนะเก็บก๊าซ

2) Concentration techniques เป็นการเก็บตัวอย่างก๊าซผ่านตัวกลาง(media) ซึ่งดูดซับสารที่ต้องการ ข้อดีของวิธีนี้เมื่อเทียบกับ capture techniques คือ ความเข้มข้นของสารจะถูกทำให้เพิ่มขึ้น (preconcentration) ซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถที่จะตรวจพบก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ มีหลายตัวกลางดูดซับที่สามารถใช้สำหรับเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนี้

- tenax เป็นตัวกลางที่เชื่อมั่นว่าเก็บตัวอย่างได้เมื่อความเข้มข้นต่ำมากๆ (Krost *et al.*, 1982) เหมาะกับสารที่มี 6 คาร์บอนอะตอมหรือมากกว่า (Countant *et al.*, 1986) และไม่เหมาะกับสารที่มีความสามารถระเหยได้สูง เช่น vinyl chloride และ methylene chloride รวมทั้งก่อให้เกิดสารอื่น เช่น benzaldehyde และ phenol ในหลอด ซึ่งต้องหา recovery ของสารและการสกัดสารต้องใช้ความร้อน (thermal desorption) โดยต้องใช้เครื่อง thermal desorption equipment

- porous polymers เป็นตัวกลางที่ดีและปลดปล่อยสารโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงของสาร มีหลายชนิด เช่น XAD resin และ GC column packing materials วิธีนี้เป็นวิธีพื้นฐานในการหาความเข้มข้นของสารจากการดูดซับ ซึ่งต่อมาใช้ความร้อนในการสกัดสาร (thermal desorption)

- charcoal มีหลักการเหมือนกับ porous polymers ยกเว้นวิธีการสกัดสาร (desorption) ไม่เหมาะกับการสกัดด้วยความร้อน (thermal elution) เพราะโมเลกุลมีแนวโน้มจะ

ถูกความร้อนทำลาย โมเลกุลที่ถูกดูดซับจะถูกชะล้างด้วยตัวทำละลาย เช่น carbon disulphide ตัวอย่างชนิดนี้ไม่เหมาะสมกับสารที่มีปริมาณต่ำ โดยทั่วไปใช้กับ VOCs ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1-100 ppm ข้อดี คือ ง่ายในการขนส่งและมีความสามารถในการดูดซับสูงเมื่อเทียบกับ porous polymers

- polyurethane foam เป็นทางเลือกหนึ่งของการเก็บตัวอย่าง ประเภท pesticides และ PCBs ซึ่งมีหลักการเหมือนกับ porous polymers ในการดูดซับและสกัดสาร แต่จะมีความเฉพาะเจาะจงต่อชนิดของสารที่ต้องการเก็บ

- cryogenic techniques เป็นวิธีที่ใช้ในการเก็บสารในสภาวะจุดเยือกแข็ง โดยท่อบูปตัว (U-shaped tube) ที่จุ่มอยู่ในน้ำแข็ง หรือ liquid nitrogen หรือ liquid helium โดยโมเลกุลจะถูกเก็บในท่อ อย่างไรก็ตาม ถ้าแหล่งกำเนิดมีความชื้นสูง น้ำจะถึงจุดเยือกแข็งและทำให้ท่ออุดตัน จะทำให้กระบวนการเก็บตัวอย่างผิดพลาด(Rafson, 1998)

- impingers เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีของเหลวบรรจุภายใน สารที่ต้องการจะถูกเก็บในของเหลวสำหรับนำไปวิเคราะห์ อุณหภูมิที่คงที่ระหว่างการเก็บจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ โดยของเหลวที่มักใช้ในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหย จาก LFG คือ tetraglyme ซึ่งจะถูกดูดซับใน tetraglyme และจะถูกนำออกและแพร่กระจายในน้ำเมื่อต้องการวิเคราะห์ (Troost, 1997) มีข้อเสีย คือ มีปริมาณของของเหลวมากซึ่งใช้ในการเก็บสารเป้าหมาย โดยจะมีเส้นใย หรือ cellulose filter, porous polymers หรือตัวกลางอื่นที่จุ่มลงในสารละลายนี้ซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงกับสาร หรือกลุ่มของสารที่ต้องการเก็บ วิธีนี้นิยมใช้เมื่อต้องการหาสารเชิงคุณภาพมากกว่าเชิงปริมาณ เนื่องจากจะทำปฏิกิริยากับของเหลวทำให้เปลี่ยนสี ซึ่งจะเป็นตัวบอกความเข้มข้นของสาร

- multisorbent systems เป็นตัวกลางหลายชนิดเรียงต่อกัน ใช้ดูดซับสารต่างชนิดกันกันได้ในช่วงกว้าง เช่น ใน multi-sorption systems มี tenax เป็นตัวกลางส่วนหน้า ต่อด้วย charcoal โดย tenax จะเก็บสารอินทรีย์ระเหยในปริมาณมาก และ activated charcoal เก็บส่วนที่ breaks through ซึ่งผ่านออกจาก tenax

นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์ก๊าซตัวอย่างในสนาม (field measurement techniques) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดการแพร่กระจายของ VOCs โดยตรงและสามารถรู้ค่าได้ในสนามบริเวณแหล่งกำเนิด (ตารางที่ 9)

การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ (laboratory analytical methods)

วิธีการวิเคราะห์ สารอินทรีย์ระเหยในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง gas chromatography (GC) มีหลายวิธีขึ้นกับ detector ที่ใช้ โดยตัวอย่างจะถูกแยกด้วยเครื่อง gas chromatography (GC) ซึ่งมี detector หลายชนิดให้เลือกใช้ เช่น flame ionization detector (FID) ใช้แยกสารประกอบบางชนิดที่มีคาร์บอนอะตอมเป็นหลัก electron capture detector (ECD) แยกสารประกอบฮาโลเจน และสารประกอบที่มีไนโตรเจน คีโตน และอัลกอฮอล์บางชนิด และ mass spectrometry (MS) ซึ่งมีความสามารถในการวิเคราะห์สารได้หลายชนิด โดย mass spectrometry จะทำลายสารให้แตกตัวและระบุชนิดของสารโดยใช้คุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งสามารถแยกและระบุสารได้มากกว่า 50,000 ชนิด โดยมีหลายหน่วยงานที่วิจัยและพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในก๊าซอยู่เสมอ เช่น US.EPA, NIOSH, และ OSHA เป็นต้น (ตารางที่ 10)

ในอดีตมีรายงานพบอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหย จากหลุมฝังกลบมูลฝอย ไม่มีระบบควบคุมประมาณ 4.18×10^{-5} ถึง 1.06×10^{-3} กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนพื้นที่ที่มีระบบการควบคุมมีอัตราการแพร่กระจายประมาณ 1.30×10^{-5} ถึง 2.16×10^{-4} กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (US.EPA, 1987) ซึ่งนอกจากจะพบในหลุมฝังกลบแล้วยังสามารถพบสารอินทรีย์ระเหยบริเวณนอกพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย และบางชนิดมีความเข้มข้นมากกว่าภายในบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยอีกด้วย (Ward *et al.*, 1996) นอกจากนี้พบว่าในหลุมฝังกลบมูลฝอยของประเทศอังกฤษ จำนวน 7 แห่ง มีอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยประมาณ 10 ตันต่อปี โดยพบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยมากกว่า 140 ชนิด ที่แพร่กระจายออกมา เช่น กลุ่ม halogenated cycloalkanes และ ketones เป็นต้น (Allen *et al.*, 1997 ; Rettenberger and Stegmann, 1993 ; Eklund *et al.*, 1998)

ตารางที่ 9 วิธีการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในสนาม

วิธี	หลักการ
Organic Vapor Analyzer (OVA)	เป็นGC ที่ไม่มีคอลัมน์สำหรับแยก มีเพียง detector วัด Total organic vapors ทั้งหมด การใช้งานในสนามง่ายและสะดวก เหมาะสำหรับพื้นที่มีการแพร่กระจายของสารสูง Detection limit : เท่ากับ 500 ppb ซึ่งเหมาะกับการสำรวจในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial hygiene) ไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่หาความสัมพันธ์ของกลิ่น
Absorption Tubes	เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารตัวกลางที่ดูดซับทำให้สีเปลี่ยน เหมาะกับการวิเคราะห์แบบกึ่งปริมาณ (semi quantitative analysis) ซึ่งมักใช้ในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม
Portable GC and GC-MS	ประกอบด้วย (single electronics ; fewer bells and whistles) ต้องระมัดระวังในการเก็บตัวอย่าง และได้รับการอบรมจากผู้เชี่ยวชาญ เป็นอุปกรณ์ที่ดีอยู่บริเวณจุดแพร่กระจาย มักใช้กับการตรวจวัด
Monitors	ammonia , total organic หรือ hydrogen sulphide

ที่มา: Rafson (1998) ; Tebbett (1992)

ปัจจุบันบางประเทศในทวีปเอเชียเริ่มมีการศึกษาการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยมากขึ้น เช่น ในกรุงโซล ประเทศเกาหลี พบการแพร่กระจายของกลุ่ม aromatic hydrocarbon ได้แก่ benzene, toluene, ethylbenzene และ xylene (BTEX) ในบรรยากาศเหนือหลุมฝังกลบมูลฝอย Nan-Ji-Do ในความเข้มข้นระดับ ppb (Kim *et al.*, 2002) ส่วนในเมืองกวางเจา ประเทศจีน พบอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจำนวน 38 ชนิด ในฤดูหนาว และ 60 ชนิด ในฤดูร้อน บริเวณบรรยากาศเหนือหลุมฝังกลบมูลฝอย Datianshan โดยกลุ่มหลักที่พบ คือ กลุ่ม aromatic hydrocarbon เช่นเดียวกันทั้ง 2 ฤดูกาล (Zou, 2003) สำหรับในประเทศไทยพบ chloroform, benzene, toluene และ PCE ในปริมาณที่ค่อนข้างมากและเด่นชัดจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยกองเปิด อบจ.นนทบุรี (อันริย์, 2547) ศึกษาอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากหลุมฝังกลบมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี พบว่า กองมูลฝอยเปิดมีอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยในรูปก๊าซของเบนซีนสูงที่สุด มีอัตราเฉลี่ย 160.74

กรัมต่อวัน ก๊าซส่วนใหญ่ที่แพร่กระจายออกสู่บรรยากาศโดยตรงเป็นส่วนใหญ่ คือ เบนซีน เอทิล เบนซีนและไซลีน มณีรัตน์ (2549)

10. หลักการวิธีโคเมท (comet assay or single cell gel electrophoresis assay)

วิธีโคเมทเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระดับชีวโมเลกุล ผู้เริ่มใช้วิธีโคเมทคนแรก คือ Ostling and Johanson (1984) ได้ทำการทดสอบในสถานะที่เป็นกลาง ต่อมาได้มีการพัฒนาโดย Singh *et al.* (1988) ซึ่งทำการทดสอบในสถานะที่เป็นด่าง (pH>13) ทำให้การทดสอบมีความไว (sensitivity) มากขึ้น และมีการปรับปรุงพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันประโยชน์ในการนำมาใช้ตรวจสอบสารเคมีที่ทำให้ดีเอ็นเอขาดและแตก (DNA damage) สามารถใช้เป็นวิธีทดสอบเบื้องต้น (screening test of mutagen and carcinogen) ทำได้ทั้งในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ ข้อดีของวิธีโคเมท คือ เป็นการทดสอบที่ไม่ยุ่งยากมาก ทำได้รวดเร็วมีความไวสูง ใช้ตัวอย่างเซลล์เพียงเล็กน้อย และทดสอบกับเซลล์ยูคาริโอตได้เกือบทุกชนิด (McCarthy *et al.*, 1997)

วิธีการทดสอบ ทำได้โดยการใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงในการสกัดเซลล์ จากนั้นทำให้ดีเอ็นเอคลายเกลียวออกจากกัน (DNA unwinding) ด้วยสารละลายที่เป็นด่างแก่ แล้วนำไปผ่านสนามไฟฟ้าที่มีสารละลายด่างเป็นตัวกลาง ทำการวิเคราะห์โดยอาศัยความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลดีเอ็นเอในสนามไฟฟ้า ทั้งดีเอ็นเอซึ่งมีประจุลบจะวิ่งไปหาขั้วบวก ดีเอ็นเอที่ถูกทำลายจะมีขนาดเล็กกว่า สามารถวิ่งในสนามไฟฟ้าได้เร็วกว่า จะกระจายตัวไปส่วนหาง (tail) ดีเอ็นเอที่ไม่ถูกทำลายจะมีขนาดใหญ่จะจับกลุ่มรวมตัวกันที่ส่วนหัว (head) เมื่อย้อมด้วยสารเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ แล้วมองผ่านกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์ของดีเอ็นเอที่ถูกทำลาย มีลักษณะคล้ายดาวหาง ความยาวของเซลล์จะขึ้นกับดีเอ็นเอที่ถูกทำลายในเซลล์ ถ้าเซลล์มีดีเอ็นเอถูกทำลายมาก เซลล์นั้นจะทำให้มีส่วนหางยาวมาก เซลล์ดีเอ็นเอใดที่ไม่ถูกทำลายก็จะมีไม่มีส่วนหาง (Gichner, 2003)

ตารางที่ 10 วิธีการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในอากาศ

วิธี	สาร	การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง
EPA.TO-01	เหมาะกับ aromatics และ chlorinated compounds ที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 6 อุณหภูมิของแหล่งแพร่ระบายต้องใกล้เคียงบรรยากาศ จุดเดือดของสารที่ดูดซับอยู่ในช่วง 80-200°C	Tenax adsorption & GC-MS
EPA.TO-02	เหมาะกับ highly volatile และ non-polar organics จุดเดือดของสารที่ดูดซับอยู่ในช่วง -15-120°C	Carbon molecular sieve adsorption & GC-MS
EPA.TO-05	Aldehyde & Ketones ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ ถ้าแหล่งแพร่ระบายมีความเข้มข้น aldehydes สูง มักใช้วิธี EPA 0011 method	Impingers filled with dinitrophenylhydrazine collection & HPLC
EPA.TO-06	Phosgene ในบรรยากาศ	Midget impinger filled with aniline/toluene for collection & HPLC
EPA.TO-07	N-Nitrosodimethylamine ในบรรยากาศ ซึ่งใช้ solvent, thermal, หรือ ใช้อุณหภูมิของ GC column 77° K ในการสกัด	Porous polymer & GC
EPA.TO-08	Phenol และ Methyl Phenol ในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นระหว่าง 1-5 ppb	Midget impinger filled with sodium hydroxide & HPLC
EPA.TO-11	Formaldehyde, aldehydes และ ketons ในบรรยากาศ โดยเฉพาะ aldehydes ที่มีความเข้มข้นสูง	Impingers filled with dinitrophenylhydrazine collection & HPLC
EPA.TO-14	ไม่เหมาะกับแหล่งแพร่ที่มีอุณหภูมิสูงเพราะจะเกิดการควบแน่นของโมเลกุลที่อุณหภูมิต่ำและล้มเหลวในการเคลื่อนย้ายของตัวอย่างที่จะวิเคราะห์โดยใช้ อุณหภูมิของ GC column 77° K ในการสกัดซึ่งต้องแยกสารหลายชนิด	Summa Polished Canister sampling & GC

ตารางที่ 10 (ต่อ)

วิธี	สาร	การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง
NIOSH 1501	Aromatic Hydrocarbon ในบรรยากาศ นิยมใช้ใน งานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม โดยใช้ Sampling Pump ดูดอากาศผ่านตัวดูดซับและสกัดด้วยตัวทำ ละลาย	Solid Sorbent Tube & GC/FID
NIOSH 1007	Vinyl Chloride ในบรรยากาศ นิยมใช้ในงานสุข ศาสตร์อุตสาหกรรม โดยเฉพาะการวัดปริมาณ ความเข้มข้นในสถานที่ทำงาน	Solid Sorbent Tube & GC/FID

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rafson (1998)

ปัจจัยการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ ดังนี้

ขนาดของดีเอ็นเอ พบว่า ดีเอ็นเอขนาดใหญ่จะผ่านเจลได้ช้ากว่าดีเอ็นเอขนาดเล็ก ดังนั้น
ในเวลาเท่ากันและสภาวะเดียวกันดีเอ็นเอขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าดีเอ็นเอขนาดเล็ก

รูปร่างของดีเอ็นเอ (conformation of DNA) ดีเอ็นเอที่มีรูปร่างที่ต่างกันแม้จะมีน้ำหนัก
โมเลกุลที่เท่ากัน เมื่ออยู่ในสภาวะเดียวกันจะเคลื่อนที่ผ่านเจลด้วยความเร็วที่ต่างกัน ดีเอ็นเอที่มี
ลักษณะเป็นวง (super helical circular) เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าดีเอ็นเอที่มีลักษณะเป็นเส้น (linear
DNA) และดีเอ็นเอที่มีลักษณะเป็นเส้นจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าดีเอ็นเอที่คลายเกลียว (open circular
or Nick circular DNA)

ความเข้มข้นของเจล (gel concentration: pore size of the gel) เจลที่มีความเข้มข้นสูง
จะมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล (pore) น้อย ทำให้ดีเอ็นเอเคลื่อนที่ผ่านได้ช้ากว่าเจลที่มีความเข้มข้น
ต่ำ ดังนั้นเจลที่มีความเข้มข้นสูงจึงเหมาะที่จะใช้แยกดีเอ็นเอที่มีขนาดเล็ก ส่วนเจลที่มีความ
เข้มข้นต่ำเหมาะจะใช้แยกดีเอ็นเอที่มีขนาดใหญ่ ความเข้มข้นของอะกาโรสเจลที่เหมาะสมสำหรับ
แยกดีเอ็นเอขนาดต่างๆ ดังแสดงใน(ตารางที่ 11)

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (applied voltage) อัตราการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ในสถานะที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ ดีเอ็นเอจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้น (ประมาณ 1 โวลต์ต่อเซนติเมตร) แต่ถ้าใช้ความต่างศักย์สูงขึ้น การเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอโมเลกุลใหญ่ๆ จะเพิ่มมากกว่าพวกที่มีขนาดโมเลกุลเล็กส่งผลให้ประสิทธิภาพของการแยกดีเอ็นเอในอะกาโรสเจลลดลง ดังนั้นหากต้องการให้การแยกดีเอ็นเอมีประสิทธิภาพดีและชัดเจนที่สุดในกรณีที่ดีเอ็นเอมีขนาดไม่เกิน 2 กิโลเบส ควรใช้ความต่างศักย์ต่ำๆ คือ ไม่เกิน 5 โวลต์ต่อเซนติเมตร

ทิศทางของกระแสไฟฟ้า (direction of the electric field) ดีเอ็นเอที่มีขนาดอยู่ในช่วงไม่เกิน 100 กิโลเบส จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเดียวกันถ้าอยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกันและคงที่

ส่วนประกอบของเบสและอุณหภูมิ (base composition and temperature) พบว่าส่วนประกอบของเบสและอุณหภูมิไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอในอะกาโรสเจล ณ ช่วงอุณหภูมิ 4 – 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมักทำที่อุณหภูมิห้อง แต่อะกาโรสที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 0.5 จะมีความหนาแน่นน้อยส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอในขณะที่ทำการผ่านกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นการผ่านกระแสไฟฟ้าจึงควรทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะช่วยให้เจลแข็งขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอดีขึ้นด้วย

บัฟเฟอร์ (buffer) การเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอในสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของบัฟเฟอร์ ถ้ามีการเตรียมความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ผิด เช่น เจือจางมาก ตัวนำกระแสไฟฟ้าจะนำกระแสไฟฟ้าได้ไม่ดี และดีเอ็นเอจะเคลื่อนที่ได้ช้ามาก และในกรณีที่เตรียมความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ สูงมากเกินไป จะทำให้การนำกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดี แต่ความร้อนจะเพิ่มมากขึ้น เจลละลายและดีเอ็นเอสูญเสียธรรมชาติ บัฟเฟอร์ที่ใช้ต้องปรับ pH ให้สองขั้วเท่ากันเพราะเมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าไประยะหนึ่ง ขั้วบวกมักจะมีค่า pH สูงขึ้นและขั้วลบจะมีค่า pH ต่ำลง ดังนั้น จึงนิยมใช้บัฟเฟอร์ที่มีความจุสูง (buffer capacity) บัฟเฟอร์ที่นิยมใช้ในกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย EDTA กับ TBS-acetate (TAE) หรือ TRIS-borate (TBE) ที่ pH ประมาณ 7.5 – 8.0 บัฟเฟอร์มีหลายชนิด และมักเตรียมในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นที่ใช้จริง 10 เท่า เมื่อต้องการใช้จึงนำมาทำให้เจือจางลงให้ได้ความเข้มข้นปกติ

ตารางที่ 11 ขนาดของดีเอ็นเอกับความเข้มข้นของอะกาโรสเจลที่เหมาะสม

ความเข้มข้นของ อะกาโรสเจล (%)	ขนาดของดีเอ็นเอ (กิโลเบส)
0.3	5 – 60
0.6	1 – 20
0.7	0.8 – 10
0.9	0.5 – 7
1.2	0.4 – 6
1.5	0.2 – 3
2.0	0.1 – 2

ที่มา: ศิริพร (2531)

การเลือกใช้บัฟเฟอร์ชนิดใดขึ้นอยู่กับบัฟเฟอร์ชนิดนั้นๆ ดังนี้

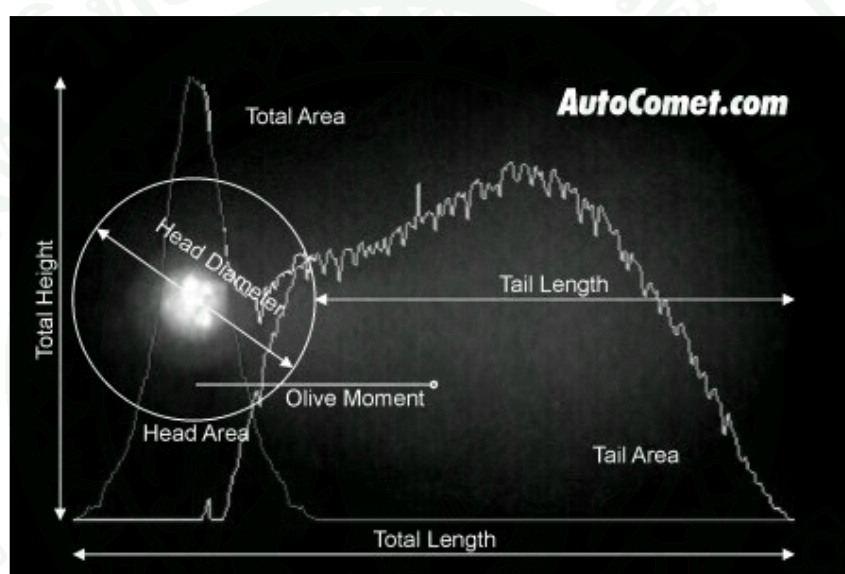
TSIS-acetate (TAE) เป็นบัฟเฟอร์ที่มีความจุต่ำ แต่นิยมใช้กันมาก ดังนั้นระหว่าง electrophoresis ต้องคอยผสมบัฟเฟอร์ระหว่างขั้วทั้งสองให้เข้ากัน การเก็บบัฟเฟอร์ให้นานต้องนำไปนึ่งฆ่าเชื้อก่อน และเก็บในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพราะจุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้

TRIS-borate (TBE) เป็นบัฟเฟอร์ที่มีความจุสูง แลบดีเอ็นเอที่แยกได้จะคมชัดและเล็กเมื่อเตรียมที่ความเข้มข้น 10 เท่า สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน โดยไม่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโต เนื่องจากมี boric acid เป็นตัวยับยั้งการเจริญของเชื้อ

การวิเคราะห์เซลล์ที่ได้จากการทดสอบ

เปรียบเทียบการวัดขนาดของเซลล์ที่ได้จากการทดสอบโคเมทด้วย software image analysis และ manual image analysis โดยใส่ hydrogen peroxide ในเซลล์ 707 FEL ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ดีเอ็นเอเกิดการแตกหัก แล้วนำมาทดลองตามขั้นตอนของการทดสอบโคเมท ตรวจวิเคราะห์เซลล์จำนวน 50 เซลล์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรส

เซนต์ McCarthy *et al.*(1997) แล้วใช้ (1) software image analysis ในการวิเคราะห์ร้อยละ head DNA , % tail DNA, tail length, tail length/head radius (L/H) และ tail moment ดังแสดงในภาพที่ 4 manual image analysis ถ่ายภาพเซลล์แล้วนำมาวัดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนหัวของเซลล์ ความยาวตั้งแต่หัวจรดหาง และส่วนหาง ผลปรากฏว่าทั้งสองวิธีให้ผลที่ดี เชื่อถือได้และไม่แตกต่างกัน แต่วิธี manual image analysis มีข้อเสีย คือ การทำยุ่งยากและใช้เวลามาก ซึ่งในแต่ละระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอของเซลล์ที่แตกต่างกัน พบว่าภาพของเซลล์โคเมทก็จะมีลักษณะแตกต่างกัน



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ภาพเซลล์โคเมท

ที่มา: TriTek Corporation,(2007)



ภาพที่ 5 ขั้นตอนทั่วไปของการทดสอบด้วยวิธีโคเมท ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก

ที่มา: ศิริพร (2531)

การตรวจวิเคราะห์เซลล์โคเมทด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ที่มีฟิลเตอร์สำหรับกระตุ้นสารฟลูออเรสเซนซ์ (excitation filter) ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และมีฟิลเตอร์สำหรับป้องกันผลกระทบจากฟลูออเรสเซนซ์ (barrier filter) ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ย้อมนิวเคลียสของเซลล์ด้วยเอธิเดียมโบรไมด์นั้น ทำได้ 4 วิธี คือ (Speit *et al.*,1998)

- นับจำนวนเซลล์ที่มีหาง (tail) และเซลล์ที่ไม่มีหาง

- ประเมินเซลล์เป็น 5 ระดับตามความยาวของหาง คือ 0 , 1 , 2 , 3 , 4 โดย 0 หมายถึง เซลล์ที่ไม่มีหาง 4 หมายถึง เซลล์ที่มีหางยาวที่สุด ทำการประเมินอย่างน้อย 50 เซลล์ และนับคะแนนจากระดับคูณด้วยจำนวนเซลล์ นำคะแนนแต่ละระดับมารวมกันในการประเมิน 50 เซลล์ และนับคะแนนจากระดับศูนย์ด้วยจำนวนเซลล์ นำคะแนนแต่ละระดับมารวมกันในการประเมิน 50 เซลล์ จะได้คะแนนต่ำสุดเป็น 0 และคะแนนสูงสุด เป็น 200

- วัดความยาวของเซลล์โดยใช้ eyepiece micrometer วัดความยาวของเซลล์ตั้งแต่หัวจรดหาง โดยมีหน่วยความยาวเป็นไมโครเมตร วัดอย่างน้อย 50 เซลล์

- ใช้เครื่อง image analyzer ที่เชื่อมต่อกับ CCD camera วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนหัวของเซลล์ (head diameter) ความยาวของหาง (tail length) ความเข้มของหาง (tail intensity) พื้นที่ส่วนหัว (head area) พื้นที่ส่วนหาง (tail area) และ tail moment (DNA migration x tail intensity) แต่ละ image analysis systems อาจใช้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน

ในการคำนวณระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอของแต่ละเซลล์ตัวอย่าง ทำได้โดยคำนวณจากสมการ (Sriussadaporn *et al.*,2003)



$$\text{ระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอ} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_{i,\max}} \quad (2)$$

โดยที่

T คือ พื้นที่ส่วนหางของเซลล์โคเมท

H คือ พื้นที่ส่วนหัวของเซลล์โคเมท

i คือ ลำดับของภาพเซลล์โคเมท

n คือ จำนวนภาพเซลล์โคเมททั้งหมด

$\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_i$ คือ ผลรวมของสัดส่วนการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอจากภาพเซลล์โคเมท
จำนวน n ภาพ

$\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_{i,\max}$ คือ ผลรวมของสัดส่วนการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอที่มีค่ามากที่สุด
จากภาพเซลล์โคเมทจำนวน n ภาพ

ในกรณีที่พื้นที่ส่วนหางมากเนื่องจากการทำลายดีเอ็นเอมาก ($T \gg H$)

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_{i,\max} \cong n$$

ดังนั้น

$$\text{ระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอ} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_i}{n} \quad (3)$$

การใช้วิธีโคเมทในงานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษาในประเทศไทย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค DNA comet assay เพื่อใช้ในการตรวจสอบเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาโดยเน้น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณ ตัวอย่าง และเวลาที่ใช้อย่างเซลล์ โดยนำมาเมล็ดถั่วเขียวหนัก 300 และ 450 มิลลิกรัม มาฉายรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ให้ได้ปริมาณรังสีดูดกลืน 0 , 0.5 , และ 1 กิโลเกรย์ แล้วย้อมสีไลต์ด้วยเทคนิค silver staining ผลจากการตรวจสอบสไลด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด transmission พบว่า ในสถานะที่ใช้ตัวอย่างถั่วเขียวหนัก 450 มิลลิกรัม เวล่าย่อยนาน 30 นาที สำหรับเมล็ดถั่วเขียวฉายรังสี จะมองเห็นชิ้นส่วนของดีเอ็นเอเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอนโอดมีลักษณะคล้ายดาวหาง และความยาวของส่วนหางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี สำหรับตัวอย่างเมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี (control) พบว่า เซลล์ส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือมีเพียงหางสั้นๆ สรุปว่า สถานะดังกล่าวเป็นสถานะที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจสอบเมล็ดถั่วเขียวฉายรังสีด้วยเทคนิค DNA comet assay วันวิสาและคณะ(2549)

มีการศึกษาผลกระทบของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกโนฟอสฟอรัสต่อสัตว์น้ำ โดยทดสอบความเป็นพิษของคลอร์ไพริฟอสต่อเซลล์เม็ดเลือดกึ่งกลาดำ ด้วยวิธีซึ่งเกิดเซลล์เจลอิเล็กโตรโฟรีซิส หรือ วิธีโคเมท ผู้วิจัยได้นำเซลล์เม็ดเลือดจำนวน 10^4 เซลล์มาทดสอบทดสอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของเทลโลเมอเมอร์อย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้น 0.05 และ 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร ของสารละลายคลอร์ไพริฟอสเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนั้นยังพบว่า ความรุนแรงของการทำลายดีเอ็นเอเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย ผลจากการทดลอง สรุปได้ว่าคลอร์ไพริฟอสเป็นพิษต่อเซลล์เม็ดเลือดกึ่งกลาดำ ทศนีย์และคณะ (2550)

มีการใช้วิธีไมโครนิวเคลียสและโคเมทในการทดสอบความเป็นพิษของสารสีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงหัวรางเงิน รางทอง และรางนาก พบว่า เมื่อทำการสกัดสารสีด้วยอะซิโตนและระเหยให้อยู่ในรูปผง นำสารสีมาทดสอบความเป็นพิษด้วยการทดสอบไมโครนิวเคลียสจาก reticulocyte ในกระแสน้ำของหนูเม้าส์และการทดสอบโคเมทจากลิมโฟไซต์ของคนหลังจากป้อนสารสี 1 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักหนูให้หนูเป็นเวลา 24 , 48 , 72 และ 96 ชั่วโมงแล้วพบว่าจำนวน

reticulocyte ที่มีไมโครนิวเคลียสแตกต่างจาก negative control อย่างไม่มีนัยสำคัญ ในการทรีดเลือดของคนด้วยสารสีความเข้มข้น 0.3 , 0.7 และ 1.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิตรเลือด เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อศึกษาเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาวหาง และ โมเมนต์หางของเซลล์โคเมทนั้นพบว่า มีเพียงลิโพโซดที่ทรีดด้วยสารสีจากรงนกความเข้มข้น 1.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตรเลือดเท่านั้นที่ DNA มีความเสียหายและมีค่าโมเมนต์หางแตกต่างจาก solvent control และ negative control อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนทรีดเมนต์อื่นของสารสีไม่เป็นพิษต่อลิโพโซด มณริรา (2550)

และมีการศึกษาการทำลายดีเอ็นเอของพืชมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อพืชได้สัมผัสก๊าซชีวภาพที่มีความเข้มข้นสูงมากขึ้นและมีระยะเวลาในการสัมผัสมากขึ้น พบระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอของใบพลูด่างสูงสุดเท่ากับร้อยละ 62 ± 0.20 ที่ระดับความเข้มข้นของมีเทนในบรรยากาศร้อยละ 10 ที่มีระยะเวลาสัมผัส 288 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอของใบพลูด่าง ในแต่ละระดับความเข้มข้นของมีเทนพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแตกต่างกันมากที่สุด ที่ระยะเวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบพืชที่ใช้ทดสอบทั้งสามชนิด พบว่าหญ้าโคสโครส เป็นพืชที่เหมาะสมในการใช้เป็นดัชนีชี้วัดผลกระทบจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย การทดสอบด้วยน้ำชะมูลฝอย พบว่า แนวโน้มของการทำลายดีเอ็นเอมีทิศทางเดียวกันกับก๊าซชีวภาพ แต่มีระดับการทำลายต่ำกว่าที่ระยะเวลาสัมผัสใกล้เคียงกัน โดยที่น้ำชะมูลฝอยสดให้ระดับการทำลายดีเอ็นเอสูงกว่าน้ำชะมูลฝอยเก่าที่ค่าความเข้มข้นของซีโอดีเท่ากัน ผลที่ได้จากการวิจัย สรุปได้ว่า วิถีโคเมทในพืชสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามและบอกระดับของผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากก๊าซชีวภาพและน้ำชะมูลฝอยได้ดี ประดิษฐา (2551) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาต่อจากการศึกษานี้

การศึกษาในต่างประเทศ

มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วิถีโคเมทในพืช ($pH > 13$) ในการตรวจสอบการถูกทำลายดีเอ็นเอของพืช 10 ชนิด คือ *Arabidopsis thaliana*, *Convolvulus arvensis*, *Bellis perennis*, *Urtica dioica*, *Lamium album*, *Chenopodium rubrum*, *Plantago media*, *Poa annua*, *Taraxacum officinale*, *Agropyron repens* โดยทำการแปรผันความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการทำลายดีเอ็นเอ Ethylmethanesulphonate (EMS) 2 และ 10 mM และแปรผันเวลาที่ใช้ในการแยกโมเลกุลดีเอ็นเอด้วยสนามไฟฟ้า 0 , 20 , และ 45 นาที แล้วทำการตรวจวัดโดยใช้โปรแกรม Komet version 3.1 พบว่า ระดับการถูกทำลายดีเอ็นเอของพืชแต่ละชนิดมีค่า

เพิ่มขึ้นเมื่อสัมผัสกับสารพิษที่มีความเข้มข้นมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Gichner and Muhlfeldove (2002)

การศึกษาคัดเลือกพืชที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดมลพิษทางอากาศ โดยใช้วิธีโคเมทติดตามการถูกทำลายดีเอ็นเอ ในการทดลองผู้วิจัยได้ใช้พืชสามชนิด คือ ต้นแป๊ะก๊วย (*Ginkgo biloba*) ต้นพลูด่าง (*Epipremnum aureum*) และต้นแพงพวยฝรั่ง (*Vinca rosea*) วางไว้ที่ข้างถนน (roadside) และบริเวณที่ไม่ใช่ข้างถนน (non-roadside) ภายในมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น แล้วเก็บตัวอย่างพืชมาทดสอบด้วยวิธีโคเมท ค่าความแตกต่างการกระจายของการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ (DNA migration ratio) ของพืชแต่ละชนิด ถูกนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การถูกทำลายดีเอ็นเอ ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างพืชที่วางไว้บริเวณข้างถนนถูกทำลายดีเอ็นเอมากกว่าพืชที่ตั้งบริเวณอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลการทดลองในแต่ละช่วงเวลา ถูกนำมาอธิบายการเพิ่มขึ้นของการถูกทำลายดีเอ็นเอด้วยสมการ regression สัดส่วนการถูกทำลายดีเอ็นเอของพืชที่วางและไม่ได้วางข้างถนนถูกนำมาใช้อธิบาย ผลกระทบต่อยีน ซึ่งมีสาเหตุจากมลพิษทางอากาศ Sriussadaporn *et al.* (2003)

การศึกษาความเป็นพิษ (toxicity) และการถูกทำลายดีเอ็นเอ (DNA damage) ของต้นยาสูบ (*Nicotiana tabacum*) และมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum*) โดยนำพืชทั้งสองชนิดปลูกบนหลุมฝังกลบที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก (Stirmice site) เปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกบนหลุมฝังกลบที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก (Jeseri site) ซึ่งหลุมฝังกลบทั้งสองตั้งอยู่ที่ North Bohemia Czech เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะ ด้วยวิธี flame atomic absorption spectrometry พบโลหะหนักชนิด Cd, Cu, Pb, และ Zn ปนเปื้อนอยู่ในดินและรากพืช ผลการทดสอบพบว่า พืชที่ปลูกในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก มีจำนวนใบและอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการทดสอบการถูกทำลายดีเอ็นเอของพืชทั้งสองชนิดด้วยวิธีโคเมท พบว่า พืชที่ปลูกบนบริเวณที่มีการปนเปื้อนมีการเพิ่มขึ้นของการถูกทำลายดีเอ็นเอเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับ control แต่การถูกทำลายดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการบาดเจ็บ (injured) ที่สังเกตได้จากความผิดปกติของใบพืช และไม่มีการเพิ่มขึ้นของ somatic mutation จึงสรุปได้ว่า ดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะก่อให้เกิดความเป็นพิษ toxicity แต่ไม่มีผลต่อความเป็นพิษในระดับยีนของพืช Gichner *et al.* (2006)

11. พืชที่นำมาศึกษา

พลูด่าง (Epipremnum aureus)

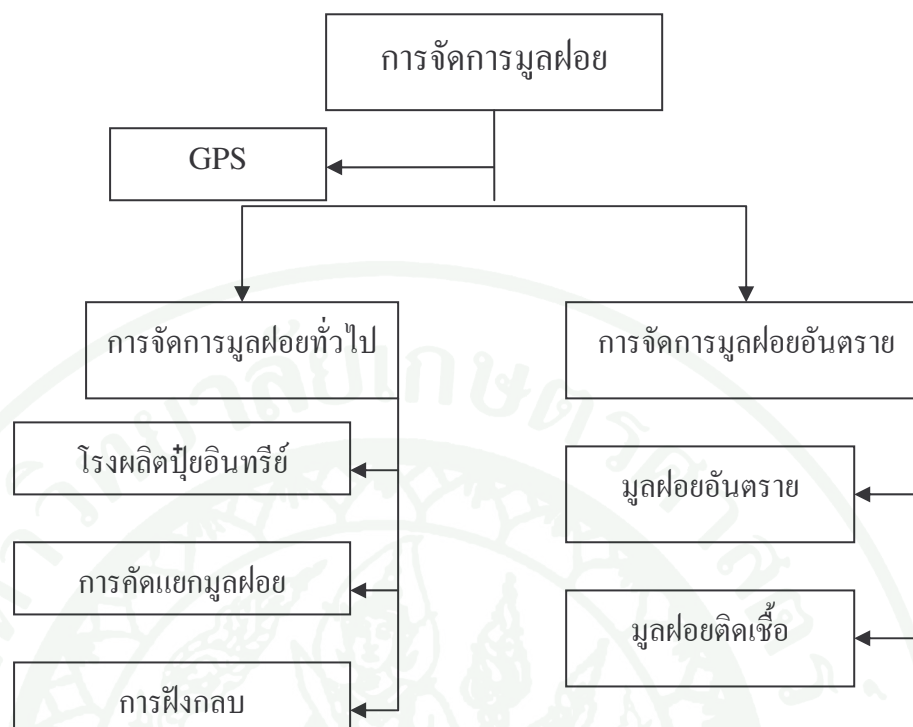
ชื่อสามัญ (ภาษาอังกฤษ): Golden Pothos , Devil's Ivy , Hunter's Robe.

แหล่งกำเนิด: โพลินีเซีย เกาะโซโลมอน

พลูด่าง เป็นไม้เลื้อยเขตร้อนที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ใบมีลักษณะเป็นรูปหัวใจสีเขียวสด สลับกับสีเหลืองนวล ต้นมีลักษณะอ่อนช้อย พลูด่างนี้ ถ้านำมาปลูกใส่กระถางแขวนให้ห้อยย้อย จะสวยงามมาก พลูด่างมีดอก เหมือนกันแต่ดอกไม่สวยงามจึงไม่ได้รับความสนใจเท่าใด พลูด่าง เป็นพืชที่มีรากอากาศ และจะเจริญเติบโต เร็วมากเมื่อมันเจริญเติบโตจนยาวมากเกินไป เราก็ตัดมาชำไว้ในแจกัน หรือขวดมันก็จะมีรากงอกโตต่อไปได้ พลูด่างเป็นพืชที่ชอบแสงสว่างถ้านำไปปลูกประดับในห้องหรืออาคารสถานที่จะต้องให้ได้รับแสงสว่างพอสมควร ถ้าแสงไม่พอจะใช้แสงไฟฟ้าแทนก็ได้ นักวิจัยแห่งสถาบันวิจัยอวกาศนาซา ได้ทดสอบความสามารถของไม้ประดับในการกำจัดสารพิษหรือมลภาวะในอากาศบางชนิด เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เบนซีน ไตรคลอโรเอทิลีน เป็นต้น ผลการทดลองพบว่า พลูด่าง สามารถลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ร้อยละ 75 เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง Wolverton (1996)

12. ข้อมูลลักษณะของพื้นที่ศึกษา

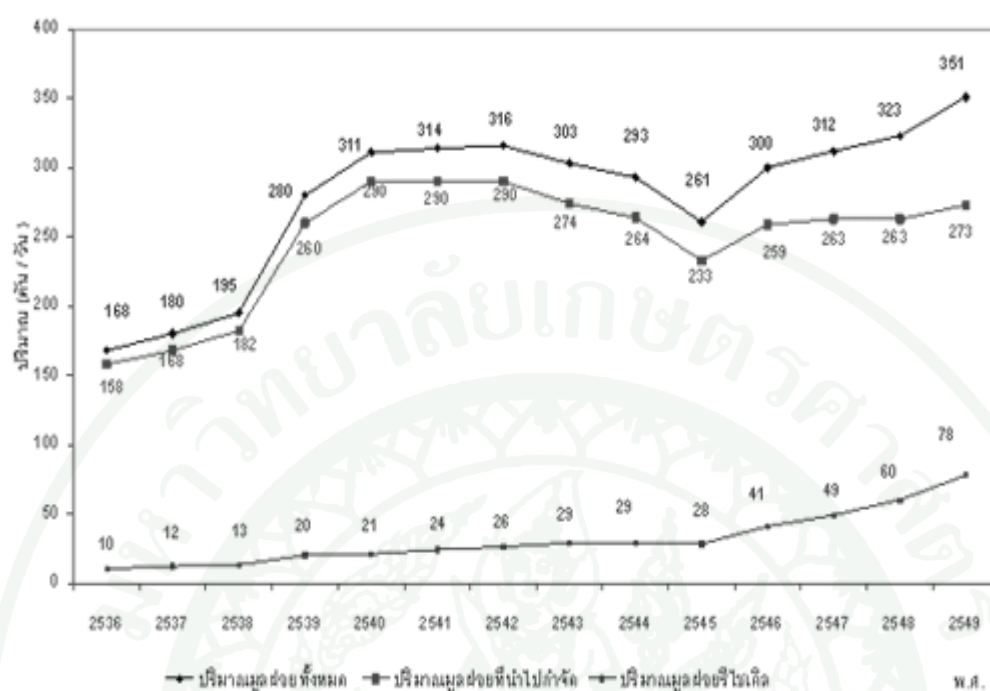
การศึกษานี้ดำเนินการที่สถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ซึ่งตั้งอยู่ที่ ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี การกำจัดมูลฝอยใช้แบบเทกองกลางแจ้ง แต่ปัจจุบันมีการใช้ดินกลบทับข้างบางส่วน จึงมีพื้นที่แบ่งเป็น 2 โซนด้วยกัน คือ แบบกองกลางแจ้ง และแบบมีชั้นดินปกคลุม มีพื้นที่กำจัดรวมทั้งสิ้นประมาณ 58 ไร่ โดยปริมาณมูลฝอยเฉลี่ย 350 ตัน/วัน (ปี 2548) อัตราเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ย 1.310 กิโลกรัม/คน/วัน



ภาพที่ 6 ขบวนการจัดการมูลฝอยของ อบจ. นนทบุรี

ที่มา: ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2545)

ผลการวิเคราะห์สมบัติมูลฝอยทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของสมบัติมูลฝอยทางเคมี มีปริมาณของธาตุคาร์บอน, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม เท่ากับ 16.42 , 1.66 , 0.42 และ 0.57 ตามลำดับ โดยมีค่าความชื้น เท่ากับ 59.54 และมีปริมาณมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ เท่ากับ 97.52 โดยหลังจากเผามูลฝอยแล้วจะเกิดเถ้า ร้อยละ 9.45 เมื่อพิจารณาค่า C/N ratio (อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน) พบว่ามีค่าเท่ากับ 9.9 (ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2545)



ภาพที่ 7 ปริมาณมูลฝอยเทศบาลนครนนทบุรี ปี พ.ศ.2536-2549

ที่มา: ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2545)

ตารางที่ 12 แสดงผลองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

รายการ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณความชื้น (Moisture Content)	59.54
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid)	40.46
ปริมาณสารที่ไหม้ไฟได้ (Combustible Solids)	97.52
ปริมาณเถ้า (Ash Content)	9.45
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile Solids)	29.55
ค่า Dry Solid Calorific Value (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4.917
ค่า Lower Solid Calorific Value (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	1.446
ปริมาณคาร์บอน	16.42
ปริมาณไนโตรเจนรวม	1.66
ปริมาณฟอสฟอรัสรวม	0.42
ปริมาณโพแทสเซียมรวม	0.57

หมายเหตุ: รายการที่ 1 -3 มีหน่วยเป็น ร้อยละโดยน้ำหนักเปียกของมูลฝอย

รายการที่ 4 – 11 มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของมูลฝอย

ที่มา: ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2545)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. พืชต่าง (*Epipremnum aureum*)

2. อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบโคเมท

2.1 ชุดอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งประกอบด้วย power supply และ electrophoresis chamber

2.2 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ยี่ห้อ OLYMPUS

2.3 CometTMSlide ชนิด 2 หลุม ยี่ห้อ Travigen , cover slip

2.4 หม้อนึ่งความดัน (autoclave) ยี่ห้อ Yamato และ โถสุญญากาศ (desicator)

2.5 อ่างต้มน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Memmert และ hot plate

2.6 ปากกิบ ไบมิค ตะเกียงแอลกอฮอล์ จานเลี้ยงเชื้อ และ coplin jar

3. สารเคมีสำหรับการทดสอบโคเมท

3.1 low melting point agarose (LMA) ยี่ห้อ Research organics

3.2 dimethylsulfoxide (DMSO) ยี่ห้อ AMRESCO

3.3 ethelenediamine teraacetic acid (EDTA) ยี่ห้อ UNIVAR

3.4 syber safe green

3.5 phosphate buffer saline (PBS)

3.6 tris(Tris [hydroxymethyl] aminomethane) ยี่ห้อ AOROS ORGANICS

3.7 triton X – 100 ยี่ห้อ AOROS ORGANICS

4. อุปกรณ์ในการหาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทน

4.1 close flux chamber ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกคือ chamber ทำจาก stainless steel มีช่องสำหรับเก็บก๊าซ 1 ช่อง อยู่ตรงกลางและมีอีก 1 ช่องสำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์ ส่วนฐานทำจาก stainless steel ขอบบนทำร่องตามแนวของนอกของเส้นรอบวง เพื่อวาง chamber ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

4.2 เครื่อง gas chromatograph (GC) ยี่ห้อ Agilent 6890 และ gas chromatograph (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14B

4.3 เข็มเก็บตัวอย่างก๊าซ (gas tight syringe) ขนาด 0.5 มิลลิลิตร

5. อุปกรณ์ในการหาอัตราการแพร่ระบายของสารอินทรีย์ระเหย

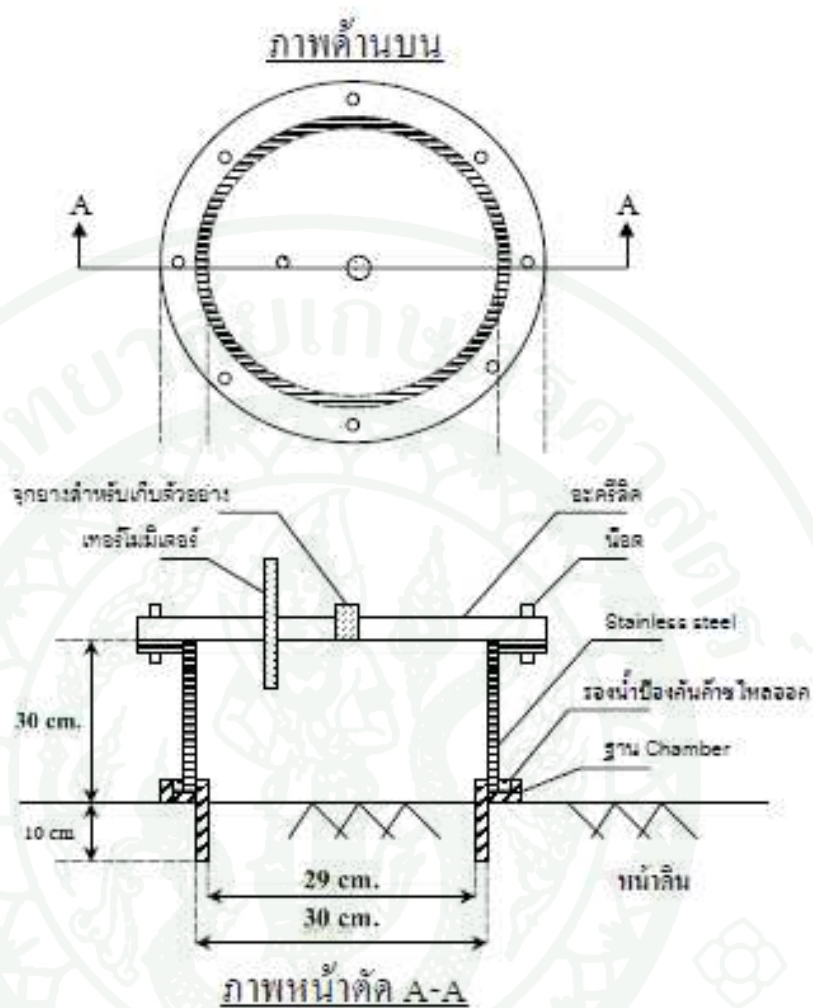
5.1 ปัมสำหรับเก็บตัวอย่างอากาศรุ่น airlite sample pump ยี่ห้อ SKC

5.2 หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (adsorbent tube) ชนิด coconut charcoal ยี่ห้อ SKC

5.3 เทอร์โมมิเตอร์

5.4 เทป ชนิด teflon ขนาด 0.5 นิ้ว

5.5 ที่ตัดหลอดแก้ว (cutter for glass tubing)



ภาพที่ 8 ภาพจำลอง close flux chamber

5.6 ขวดแก้วพร้อมฝาปิด (vial) ขนาด 1 มิลลิลิตร ยี่ห้อ SUNSRI

5.7 เข็มฉีดยาไมโครลิตร (microliter syringe) ขนาด 10 ไมโครลิตร

5.8 ไมโครปิเปต ขนาด 100-1,000 ไมโครลิตร ยี่ห้อ Witeg

5.9 ตู้ดูดควัน (hood)

5.10 เครื่อง Gas Chromatograph Mass Spectrometer(GCMS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GCMS-QP2010Plus

5.11 คาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulfide) GC Grade

5.12 สารอินทรีย์ระเหยมาตรฐาน (calibration standards, VOCs Mix)

6. อุปกรณ์และเครื่องมือทั่วไป

6.1 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด

6.2 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

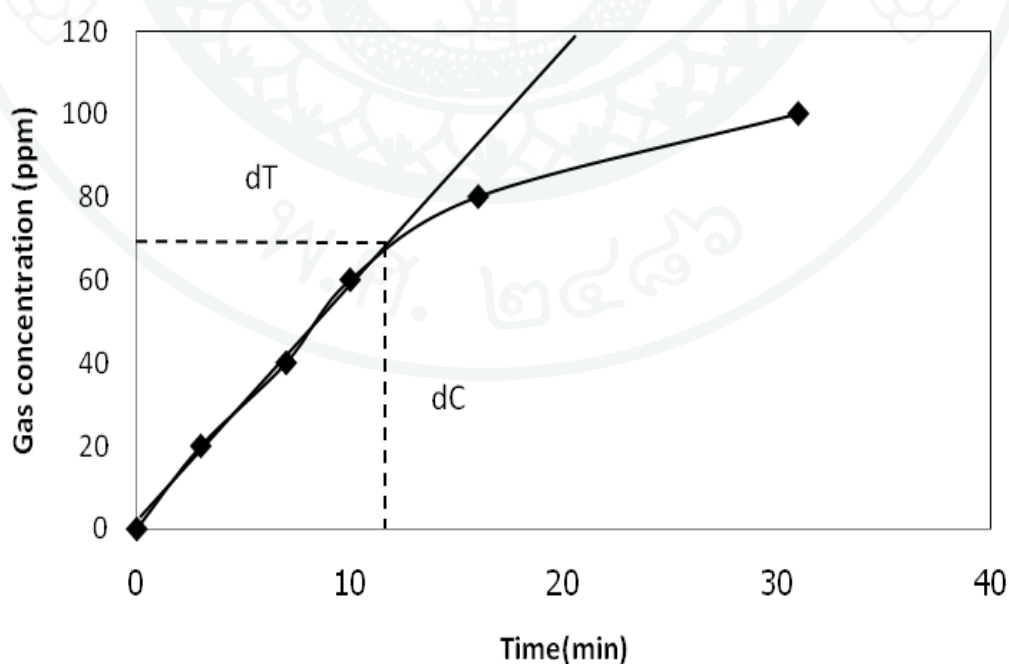
6.3 ตู้ทำความเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส

6.4 เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ ปิเปต แท่งแก้วคน บีกเกอร์ ฯลฯ

วิธีการ

1. การหาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบ และบริเวณกองเปิด

ทำการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างแบบสุ่มบริเวณหลุมฝังกลบที่ปิดแล้วและบริเวณกองเปิด โดยที่อายุของหลุมฝังกลบมูลฝอย ประมาณ 2 ปี ส่วนกองมูลฝอยเปิดมีอายุประมาณ 7 เดือน จุดที่เก็บบริเวณใกล้กับจุดที่วางพีชทดสอบ (พลูด่าง) โดยจะเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อหาอัตราการแพร่ระบายถูกละ 3 ครั้งต่อพื้นที่ โดยแต่ละครั้งจะเก็บที่ 7.00-9.00 น. 10.00-12.00 น. และ 13.00-15.00 น. โดยการติดตั้ง chamber ที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างแล้วทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ ทุก 10 นาที ภายในเวลา 60 นาที (สุรัตน์, 2546) เก็บก๊าซโดยใช้หลอดแก้วสุญญากาศขนาด 6 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph (GC) ยี่ห้อ Agilent 6890 เพื่อหาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และ gas chromatograph (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14B เพื่อหาความเข้มข้นของมีเทน สำหรับก๊าซมีเทนนำมาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นและเวลา แล้วนำไปหาอัตราการแพร่ระบายต่อไป โดยที่จะได้ค่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซทั้งสองชนิด 9 ค่า ต่อจุดต่อพื้นที่ (สมการที่ 1)



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

โดยที่

F คือ อัตราของก๊าซที่ระบายออกมาต่อพื้นที่ต่อเวลา, $g/m^2/d$

ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซ, kg/m^3

V คือ ปริมาตรของ Chamber, m^3

A คือ พื้นที่หน้าตัดของ Chamber, m^2

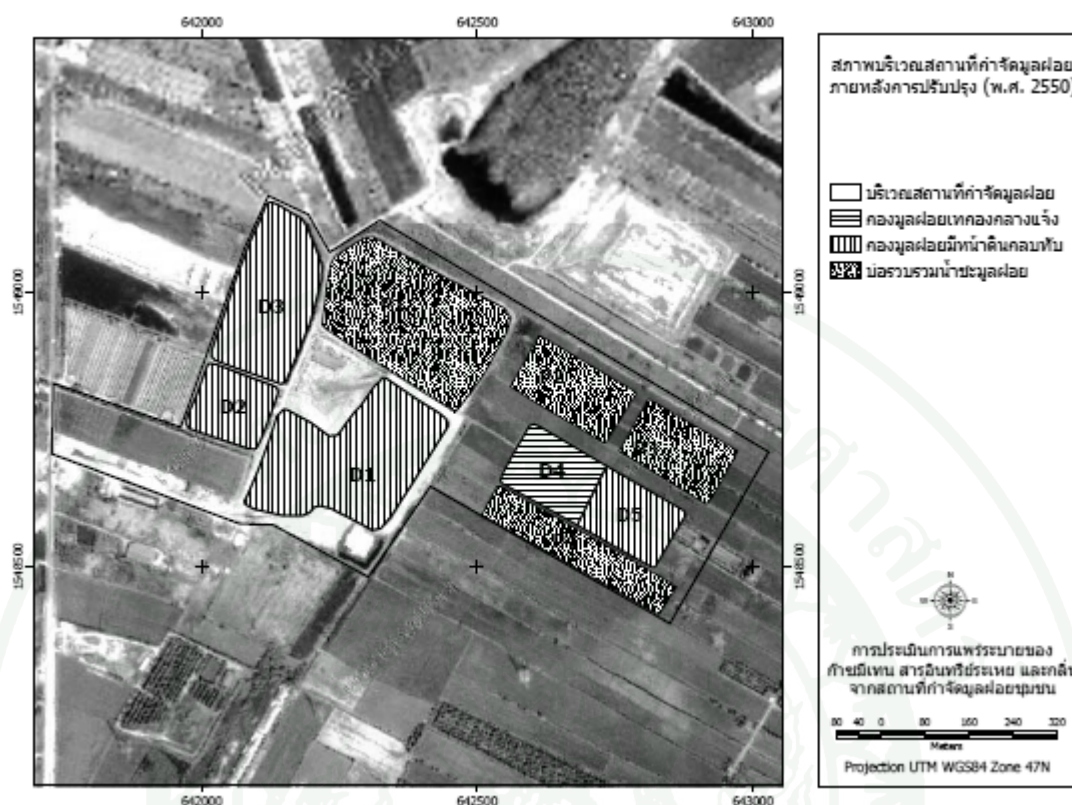
ΔC คือ ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง, %

Δt คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ, d

นำมาวิเคราะห์หาร้อยละก๊าซมีเทน โดยวิธี gas chromatography นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นกับเวลา เพื่อหาอัตราการแพร่ระบายของก๊าซจากสมการ (1) (Sass *et. al.*, 1990) ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นำมาหาความเข้มข้นโดยคูณด้วยค่าคงที่ (factor) จะได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นำไปคำนวณอัตราการแพร่ระบายต่อไป(สมการที่ 1)

2. การความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบ และบริเวณกองเปิด

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซในบรรยากาศเพื่อหาเข้มข้น โดยจะเก็บในวันที่ทำการวางพีชตัวอย่าง โดยเก็บ 7.00-9.00 น. 10.00-12.00 น. และ 13.00-15.00 น. ช่วงเวลาละ 3 ตัวอย่าง เก็บเป็นระยะเวลา 5 วันต่อครั้ง หรือ 45 ตัวอย่างต่อครั้ง ทำการเก็บ 2 ครั้งต่อฤดู (เช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างพีช) รวมเก็บโดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่างต่อพื้นที่ต่อฤดู เก็บที่ระดับไม่เกิน 1 เมตร จากผิวดินหรือผิวขยะมูลฝอย หรือระดับใกล้เคียงกับการวางต้นพีช ใช้วิธีการเก็บแบบสุ่มจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph (GC) ยี่ห้อ Agilent 6890 เพื่อหาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และ gas chromatograph (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14B เพื่อหาความเข้มข้นของมีเทน



ภาพที่ 9 สถานที่กำจัดมูลฝอยที่ทำการทดลอง เก็บตัวอย่างที่บริเวณ กองมูลฝอยกลางแจ้ง (D4) และ กองมูลฝอยมีน้ำดินกลบทับ (D5)

ที่มา: สรรสฤษฎ์ (2551)

3. การหาอัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบ และบริเวณกองเปิด

ติดตั้ง chamber ที่ผิวหน้าดินหรือกองขยะมูลฝอย เก็บตัวอย่างอากาศที่ผ่านกองมูลฝอยเปิดและหลุมฝังกลบ โดยวิธี concentration techniques ใช้หลอดเก็บตัวอย่าง (adsorbent tube) จำนวน 1 หลอดต่อเข้ากับปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ แล้วใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านหลอดเก็บตัวอย่างด้วยอัตราการไหล 30 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2543) โดยจะต้องมีการแลกเปลี่ยนอากาศเวียนกลับเข้าไปใน chamber โดยใช้หลอดแก้วใส่กับแอคติเวตเต็ดคาร์บอน จากนั้นปิดหลอดเก็บตัวอย่างด้วยฝาปิดพลาสติก และพันด้วยเทปชนิด teflon เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้บลูไอส์(blue ice) เพื่อรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างและป้องกันเรื่องความชื้นที่จะมีผลกับตัวอย่างนำตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศา

เซลเซียส โดยจะเก็บตัวอย่างวันเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เก็บตั้งแต่เวลา 8.00-14.00 น. จะเก็บได้ 6 ตัวอย่างต่อวัน ในแต่ละฤดูจะเก็บทั้งหมด 18 ตัวอย่างต่อพื้นที่วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่กำจัดมูลฝอยกองเปิดวิเคราะห์โดยวิธี gas chromatography นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่จะศึกษา

สกัดสารอินทรีย์ระเหยจากหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ โดยหักปลายหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ เทเอาเฉพาะส่วนของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนโดยแยกส่วนหน้าและส่วนหลังใส่ในขวดแก้วอย่างละขวด จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสารคาร์บอนไดออกไซด์ 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วที่บรรจุแอคติเวตเต็ดคาร์บอนแล้วปิดฝาอย่างรวดเร็ว (ทำในตู้ดูดควัน) เขย่าขวดเบาๆ เป็นช่วงๆ ในระยะเวลา 30 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph mass spectrometer (GCMS)

ใช้เข็มฉีดยาไมโครลิตร ขนาด 1 ไมโครลิตร ดูดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ 0.5 ไมโครลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่อง gas chromatograph mass spectrometer (GCMS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GCMS-QP2010Plus เมื่อได้ค่าพื้นที่พีค (peak area) นำค่าดังกล่าวมาเทียบกับค่ากราฟมาตรฐาน คำนวณหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยและอัตราการแพร่ระเหยสารอินทรีย์ระเหยต่อไป (ภาคผนวกที่ 9)

การทำ Laboratory Blank และ Field Blank โดยหลอด Laboratory Blank เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการ และนำมาวิเคราะห์พร้อมกับตัวอย่าง ส่วนหลอด Field Blank ถูกนำไปที่ในพื้นที่ศึกษาพร้อมหลอดเก็บตัวอย่าง เมื่อทำการเก็บตัวอย่างจะเปิดฝาหลอด Field Blank แล้วปิดฝาอย่างรวดเร็วที่จุดเก็บตัวอย่าง (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2543) โดยที่จะทำ Field Blank 1 ตัวอย่างต่อการเก็บตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง จากนั้นนำ Field Blank มาวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์การเกิด Breakthrough สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่สกัดได้จากหลอดส่วนหน้า (W_f) และปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่สกัดได้จากหลอดส่วนหลัง (W_b) โดยถ้า $W_b > W_f / 10$ จะวิเคราะห์ว่าเกิด Breakthrough

4. วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศโดยวิธี Gas Chromatography

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศและวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 1994; Method 1003 และ Method 1501 ของ U.S. Department of Health and Human Services

4.1 สารเคมี

- สารคาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide) GC Grade
- สารอินทรีย์ระเหยมาตรฐาน (Calibration Standards, VOCs Mix)
- ก๊าซฮีเลียม ความบริสุทธิ์สูง 99.99 % ของ TIG (Thailand)
- ก๊าซไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์สูง 99.99 % ของ TIG (Thailand)
- อากาศ ความบริสุทธิ์สูง 99.99 % ของ TIG (Thailand)

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (adsorbent tube) ใช้หลอดชาร์โคลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตรภายนอก 6 มิลลิเมตร ยาว 7 เซนติเมตร ภายในบรรจุแอคติเวตเต็ดคาร์บอน (activated coconut shell charcoal) ขนาด 20/40 เมช ปริมาณ 150 มิลลิกรัม โดยแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหน้า 100 มิลลิกรัม ส่วนหลัง 50 มิลลิกรัม ซึ่งถูกแบ่งด้วยยูรีเทนโฟม (urethane foam) หนา 2 มิลลิเมตร และมียูรีเทนโฟมหนา 3 มิลลิเมตร กั้นระหว่างแอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนหลังกับปลายทางออกของหลอด ส่วนปลายทางเข้าของหลอดมีใยแก้ว (glass wool) ปิดทับอยู่บนแอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนหน้า และกำหนดให้ค่าความดันลด (pressure drop) ของหลอดชาร์โคลจะต้องไม่เกิน 1 นิ้วปรอทที่อัตราการไหลของอากาศ 1 ลิตรต่อนาที
- ปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศ ที่วัดอัตราการไหลระหว่าง 0.01-1 ลิตรต่อนาที

- เครื่อง Gas Chromatograph Mass Spectrometer(GCMS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GCMS-QP2010Plus

- ขวดแก้ว (vial) ขนาด 1 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิดซิลิโคนเคลือบเทปลอน

4.3 การปรับเครื่อง Gas Chromatograph Mass Spectrometer(GCMS)

การปรับเครื่อง Gas Chromatograph Mass Spectrometer(GCMS) เพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ระเหย โดยปรับค่าของ GC ดังนี้ Column oven temperatur 40 องศาเซลเซียส Injection temperatur 250 องศาเซลเซียส Detector 200 องศาเซลเซียส 50.2 กิโลพาสคาล Pressure 50.2 กิโลพาสคาล Total flow 14 มิลลิลิตรต่อนาที ปรับค่า MS ดังนี้ Ion source temperatur 230 องศาเซลเซียส Interface 280 องศาเซลเซียส

5. การเตรียมและการเก็บตัวอย่างพืชทดสอบ (พลูด่าง) เพื่อติดตามผลกระทบต่อการทำลายดีเอ็นเอโดยวิธีโคเมท

นำต้นของพลูด่างที่ต้องการทดสอบมาทำการเพาะในกระถาง ในแต่ละกระถางมีต้นพลูด่างประมาณกระถางละ 10 ต้น เพาะในบริเวณที่สะอาดแสงเพียงพอ แล้วรดน้ำทุกวันเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน เมื่อต้นพลูด่างเจริญเติบโตและแข็งแรงดีแล้ว คัดเลือกต้นพลูด่างที่มีขนาดของต้นเท่าๆ กัน นำไปใช้ในการทดสอบในหลุมฝังกลบ โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 3 ชุดด้วยกัน คือ ชุดที่ 1 วางที่หลุมฝังกลบที่เป็นกองเปิด ชุดที่ 2 วางไว้ที่หลุมฝังกลบที่ปิดแล้ว และชุดที่ 3 เป็นชุดควบคุม วางไว้ที่ห้องปฏิบัติการ โดยแต่ละชุดมีจำนวนประมาณ 10 กระถาง หรือ 100 ต้น

นำพืชทดสอบ (พลูด่าง) ไปตั้งไว้บริเวณหลุมฝังกลบที่ปิดแล้ว และวางพลูด่างไว้บริเวณกองเปิด เลือกบริเวณที่ป้องกันการรบกวนมากที่สุด บังแสงด้วยตาข่าย โดยจะเก็บตัวอย่าง 96 ชั่วโมง (4 วัน) โดยเก็บบริเวณละ 10 ตัวอย่างและคอนโทลอีก 10 ตัวอย่าง ต่อ หนึ่งรอบเก็บซ้ำทั้งหมด 2 รอบ โดยเก็บใบพลูด่างที่มีลักษณะปกติมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม หรือประมาณ 3 ใบ คิดเป็นร้อยละ 10 ของตัวอย่างทั้งหมด ใส่ลงในถุงพลาสติก ปิดปากถุง และแช่ในน้ำแข็งไว้ ตัวอย่างจะต้องสดอยู่เสมอ จนถึงห้องปฏิบัติการในการทดสอบโดยวิธีการโคเมทต่อไป

6. การเก็บตัวอย่างและการทดสอบด้วยวิธีโคเมท

ทำการเก็บตัวอย่าง โดยเลือกใบที่มีลักษณะปกติ ไม่เหี่ยวงอ มีสีเขียวสด ขนาดของใบควร จะใกล้เคียงกัน ล้างใบให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้งเบาๆ ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วชั่งมา 0.6 กรัม เติมสารละลาย Sorensen buffer (50 mM KH_2PO_4 , 50 mM $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 0.1 mM Ethylenediamine tetraacetic acid :EDTA , 0.5 % Dimethyl sulfoxide : DMSO , pH 6.8) 2 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อที่วางไว้บนถาด น้ำแข็ง แล้วตัดใบพืชให้เป็นแผ่นบางด้วยใบมีด ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อสกัดเซลล์ออกจากใบพืช

กรองสารละลายด้วยฟیلเตอร์ที่มีขนาดช่องพุน 20 ไมโครเมตร จากนั้นผสมสารละลาย ดังกล่าว 150 ไมโครลิตร กับ 300 ไมโครลิตร ของ Low Melting Point Agarose (ละลาย LMA 0.15 กรัมใน Phosphate Buffer Solution 10 มิลลิลิตร) เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 1% LMA ใช้ข้อโศปเปิดผสมเนื้อสารให้เข้ากันโดยการดูดแล้วปล่อยหลายครั้ง เมื่อผสมกันดีแล้วหยด สารละลายตัวอย่าง 75 ไมโครลิตรลงบน CometSlide™ ที่วางบนแผ่นความร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำสไลด์แช่ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส อีก 30 นาที เพื่อให้เจลแข็งตัว จากนั้นนำ สไลด์จุ่มลงใน Lysis Solution 45 มิลลิลิตร (2.5 M NaCl , 100 mM EDTA , 10 mM Trisma Base) 5 มิลลิลิตร DMSO และ 0.5 มิลลิลิตร Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมงเพื่อให้ดีเอ็นเอคลายเกลียว

จากนั้นนำสไลด์มาวางบน horizontal gel electrophoresis tank ที่วางอยู่บนถาดน้ำแข็ง ภายในบรรจุด้วยalkaline solution(NaOH 4.2 กรัม ,200 mM EDTA 1.75 มิลลิลิตรpH > 13) ผ่านกระแสไฟฟ้า AC : 300 mA , 15 Volt เป็นเวลา 25 นาที แล้วล้างสไลด์โดยแช่สไลด์ใน Neutralization buffer (Tris – hydroxymethyl – aminomethane 48.5 กรัม ,pH 7.5) 2 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที แล้วซับน้ำด้านนอกออกเบาๆ ด้วยทิชชู ทำให้แห้งโดยวางสไลด์บนแผ่นความร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

หลังจากสไลด์แห้งทำการย้อมสีโดยหยดสีย้อม SYBERSafe™ Green ยี่ห้อ Invitrogen 1 หยดปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำสไลด์ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรส เซนซ์ และถ่ายภาพด้วยกล้องซีซีดี (CCD Camera) รับสัญญาณภาพและโปรแกรมแปลงสัญญาณ แสดงทางจอคอมพิวเตอร์

7. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ใช้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ Excitation filter ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และ Barrier filter ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร กำลังขยาย 10 เท่า เพื่อตรวจหาบริเวณที่เซลล์มีการกระจายตัวพอดี และใช้กล้องซีซีดี (Charge-coupled device, CCD) รับสัญญาณภาพถ่ายทอดไปยังจอคอมพิวเตอร์ (Monteith and Vanstone, 1995) แต่ละการทดลองทำการศึกษาโดยใช้เซลล์จำนวน 50 เซลล์ตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรม Tritex Comet [Score] Freeware Version 1.5 วัดค่าพื้นที่ส่วนหัว (head area : H) และพื้นที่ส่วนหาง (tail area : T) จากภาพเซลล์โคเมท ตามวิธีของ Sriussadaporn *et al.* (2003) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณร้อยละการถูกทำลายดีเอ็นเอ และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 1.5 for window ดังสมการที่ 3

$$\text{ร้อยละการถูกทำลายดีเอ็นเอ} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T}{T+H} \right)_i}{n} \quad (3)$$

โดย T คือ พื้นที่ส่วนหางของเซลล์ H คือพื้นที่ส่วนหัวของเซลล์ และ n คือ จำนวนเซลล์ทั้งหมด

ผลและวิจารณ์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยได้จากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยและกองมูลฝอยกลางแจ้ง ในฤดูฝนและฤดูแล้ง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยได้ และมีการศึกษาติดตามผลกระทบระดับการทำลายดีเอ็นเอของพืชดั้งเดิมและใช้พลูตังในการเปรียบเทียบเนื่องจากในการศึกษาการทำลายดีเอ็นเอของพืชจากก๊าซมีเทนมากที่สุดคือใบพลูตัง จึงนำมาใช้ในการเป็นตัวชี้วัดเพื่อเปรียบเทียบในสถานที่จริงและแบบจำลอง โดยจะนำอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยได้มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระดับการทำลายดีเอ็นเอของพืช (พลูตัง) ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

1. อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

วัดอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพบริเวณหลุมฝังกลบและกองมูลฝอยเปิดเปิดฤดูฝน ช่วงเวลา เดือนกันยายน ถึง พฤศจิกายน 2551 และฤดูแล้ง ช่วงเวลาเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2552 ซึ่งเก็บที่เวลา 7.00-9.00 น., 10.00-12.00 น. และ 13.00-15.00 น. ผลการทดลอง พบว่า อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองมูลฝอยเปิดเปิดมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝน 20.0 ± 14.1 และ 17.0 ± 6.4 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$) ในฤดูแล้ง 31.8 ± 14.1 และ 20.1 ± 8.7 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$) ตามลำดับ และบริเวณหลุมฝังกลบที่มีค่าเฉลี่ยในฤดูฝน 1.32 ± 1.56 และ 5.54 ± 1.2 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$) ในฤดูแล้ง 2.5 ± 1.4 และ 8.7 ± 5.6 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$) ตามลำดับ (ตารางที่ 14-17) สรุปได้ว่า อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซทั้งสองบริเวณกองมูลฝอยเปิดมีค่าสูงกว่าบริเวณหลุมฝังกลบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ 3) ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง เนื่องจากหลุมฝังกลบมีวัสดุกลบทับมีส่วนช่วยลดการแพร่ระบาดของก๊าซได้มาก

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่เดียวกันแต่ต่างฤดูกาล พบว่า อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; ตารางผนวกที่ 3) ทั้งบริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบ ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมา(อนุชิต, 2547) ที่ฤดูแล้งมีค่ามากกว่าฤดูฝน และการศึกษาของสุรัตน์(2546) ที่ฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้ง (ตารางที่ 13) จะเห็นได้ว่าผลการทดลองแต่ละครั้งใน

พื้นที่ศึกษาเดียวกันมีความแตกต่างกัน ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากการทดลองทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งช่วงที่ทำการทดลองมีปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนช่วงเดือน กันยายน-พฤศจิกายน 2551 มีปริมาณน้ำฝน 304.2 มิลลิเมตร และในฤดูแล้ง ช่วงเดือน กุมภาพันธ์-เมษายน 2552 มีปริมาณน้ำฝน 136.8 มิลลิเมตร วัดที่สถานีอำเภอไทรน้อย (กรมอุตุนิยมวิทยา) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายก๊าซชีวภาพในหลุมฝังกลบมีหลายปัจจัย เช่น การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน เนื่องจากระหว่างวันมีอุณหภูมิและความดันบรรยากาศแตกต่างกัน ลักษณะสภาพอากาศ ลักษณะหน้าดินกลบ เป็นต้น Christophersen *et al.*, (2000); Borjesson and Svensson (1997)

ตารางที่ 13 อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยที่หลุมฝังกลบองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี(ไทรน้อย)

อัตราการแพร่กระจาย (g/m ² .d)	พิมลรัตน์ ,2544**	สุรัตน์,2546*	อนุชิต,2547*	งานวิจัยนี้*
มีเทน	-ฤดูร้อน 35.37 -หนาว 1.00 -ฝน 0.0083 บริเวณกองมูล ฝอยเปิด	-ฤดูฝน 23.47 -ฤดูร้อน 0.42 -วัดบริเวณหลุม ฝังกลบ -กองเปิดเฉลี่ย ทั้งหมด 40.05	-อยู่ในช่วง 0.14-5.21 บริเวณหลุม ฝังกลบ	-หลุมฝังกลบเลี้ยง2.5 -หลุมฝังกลบฝน1.32 -กองเปิดเลี้ยง 31.8 -กองเปิดฝน 20
คาร์บอนไดออกไซด์	-ฤดูร้อน 31.68 -หนาว 0.79 -ฝน 0.0104	-กองเปิดเฉลี่ย ทั้งหมด 218.62	-	-หลุมฝังกลบเลี้ยง8.7 -หลุมฝังกลบฝน5.54 -กองเปิดเลี้ยง 20.1 -กองเปิดฝน 17
หมายเหตุ	องค์ประกอบ ก๊าซสูงสุดฤดู ฝนต่ำสุดฤดู ร้อน	การแพร่กระจาย ไม่สม่ำเสมอ ตลอดพื้นที่ หลุมฝังกลบ	อัตราการแพร่ ก๊าซสองชนิด ฤดูแล้งสูงกว่า ฤดูฝน	อัตราการแพร่ก๊าซ สองชนิดฤดูแล้งสูง กว่าฤดูฝน

หมายเหตุ : * วัดโดยวิธี Close flux และ ** วัดโดยเครื่อง GAS LANTEC : GEM-500

ตารางที่ 14 อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูฝน

พื้นที่	อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$)(n=9)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 23/09/51	1.5-4.2	1.073	3.11	0.425
- 17/10/51	0.27-1.1	0.268	0.49	1.962
- 14/11/51	0.13-0.63	0.134	0.34	2.349
เฉลี่ย	0.13-4.2	0.626	1.32	1.558
2.กองเปิด				
- 19/09/51	4.4-14.8	14.81	7.98	19.501
- 04/10/51	12.9-26.2	26.07	21.74	14.111
- 03/11/51	11.5-47.6	11.49	30.13	11.085
เฉลี่ย	4.4-47.6	14.81	20.03	14.102

ตารางที่ 15 อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูแล้ง

พื้นที่	อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$)(n=9)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 05/02/52	0.8-5.1	1.57	3.01	1.261
- 01/03/52	2.4-3.4	2.82	2.90	2.125
- 30/03/52	0.5-3.1	2.77	1.72	0.542
เฉลี่ย	0.5-5.1	2.77	2.53	1.386
2.กองเปิด				
- 16/02/52	14.8-30.4	28.84	24.71	8.593
- 20/03/52	16.8-56.2	46.23	39.74	20.523
- 04/04/52	19.0-41.3	32.46	30.90	11.211
เฉลี่ย	14.8-56.2	30.40	31.76	14.077

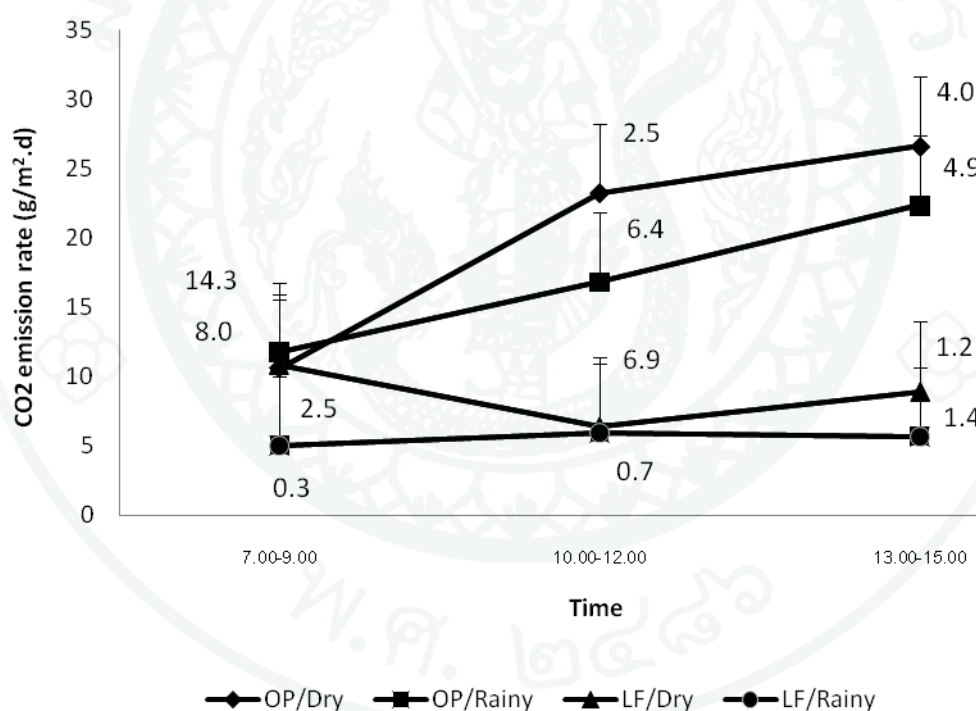
ตารางที่ 16 อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด
ในฤดูฝน

พื้นที่	อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$)(n=9)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 23/09/51	6.2-6.7	6.449	6.45	0.243
- 17/10/51	5.2-6.7	5.354	5.76	0.810
- 14/11/51	3.3-5.8	4.137	4.42	1.301
เฉลี่ย	3.3-6.7	5.841	5.54	1.183
2.กองเปิด				
- 19/09/51	14.8-29.1	20.077	21.31	7.201
- 04/10/51	9.6-17.0	13.628	13.43	3.715
- 03/11/51	11.7-22.3	13.385	16.21	7.175
เฉลี่ย	9.6-29.1	14.845	17.00	6.432

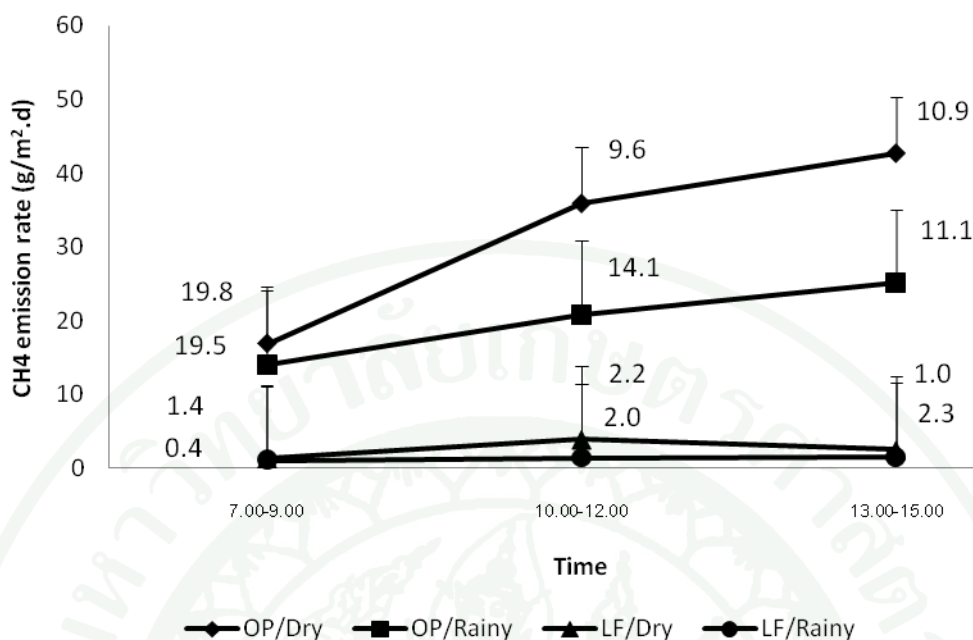
ตารางที่ 17 อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด
ในฤดูแล้ง

พื้นที่	อัตราการแพร่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$)(n=9)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 05/02/52	10.0-14.5	10.951	11.76	2.369
- 01/03/52	6.4-19.2	8.153	11.32	6.937
- 30/03/52	1.8-4.1	3.407	3.14	1.182
เฉลี่ย	1.8-19.2	8.153	8.69	5.616
2.กองเปิด				
- 16/02/52	3.5-32.2	27.013	10.60	15.294
- 20/03/52	9.9-23.5	22.024	24.21	7.412
- 04/04/52	18.2-24.1	20.686	26.64	2.933
เฉลี่ย	3.5-24.1	22.024	20.08	8.712

เมื่อพิจารณาอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพตามช่วงเวลา (ภาพที่ 10) คือ 7.00-9.00 น., 10.00-12.00 น. และ 13.00-15.00 น. พบว่า อัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณกองเปิดในฤดูฝนและฤดูแล้งมีแนวโน้มทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าต่ำสุดที่เวลา 7.00-9.00 น. และเพิ่มขึ้นตามเวลา สูงสุดที่เวลา 13.00-15.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิบรรยากาศ (ภาพที่ 11) เนื่องจากระหว่างวันมีอุณหภูมิต่างกันมากจะทำให้มีความดันบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ความดันบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการแพร่ระบายก๊าซลดลง (Bogner,1992) ส่วนอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่หลุมฝังกลบทั้งใน ฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากหลุมฝังกลบมีวัสดุกลบทับสามารถลดอัตราการแพร่ ระบายก๊าซชีวภาพได้มาก



ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพในกองเปิดและหลุมฝังกลบตามช่วงเวลา



ภาพที่ 10 (ต่อ)

จากตารางที่ 18 แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนต่ออัตราการแพร่กระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณกองมูลฝอยเปิดและหลุมฝังกลบในฤดูแล้งที่ 1.176 และ 1.582 เท่าตามลำดับ และ อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนต่ำกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณกองมูลฝอยเปิดและหลุมฝังกลบในฤดูฝนที่ 0.238 และ 0.287 ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นมากที่สุดถึงร้อยละ 45 ถึง 60 และร้อยละ 40 ถึง 50 ตามลำดับ (Emcon Associate, 1997) ในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝนอาจเนื่องมาจากในฤดูแล้งมีความชื้นค่อนข้างสูงและมีอุณหภูมิพอเหมาะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งค่าปกติของอัตราส่วนระหว่างก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1.0-1.2 คือ คาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่ามีเทน (Maurice *et al.*, 1995)

ตารางที่ 18 อัตราส่วนระหว่างอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

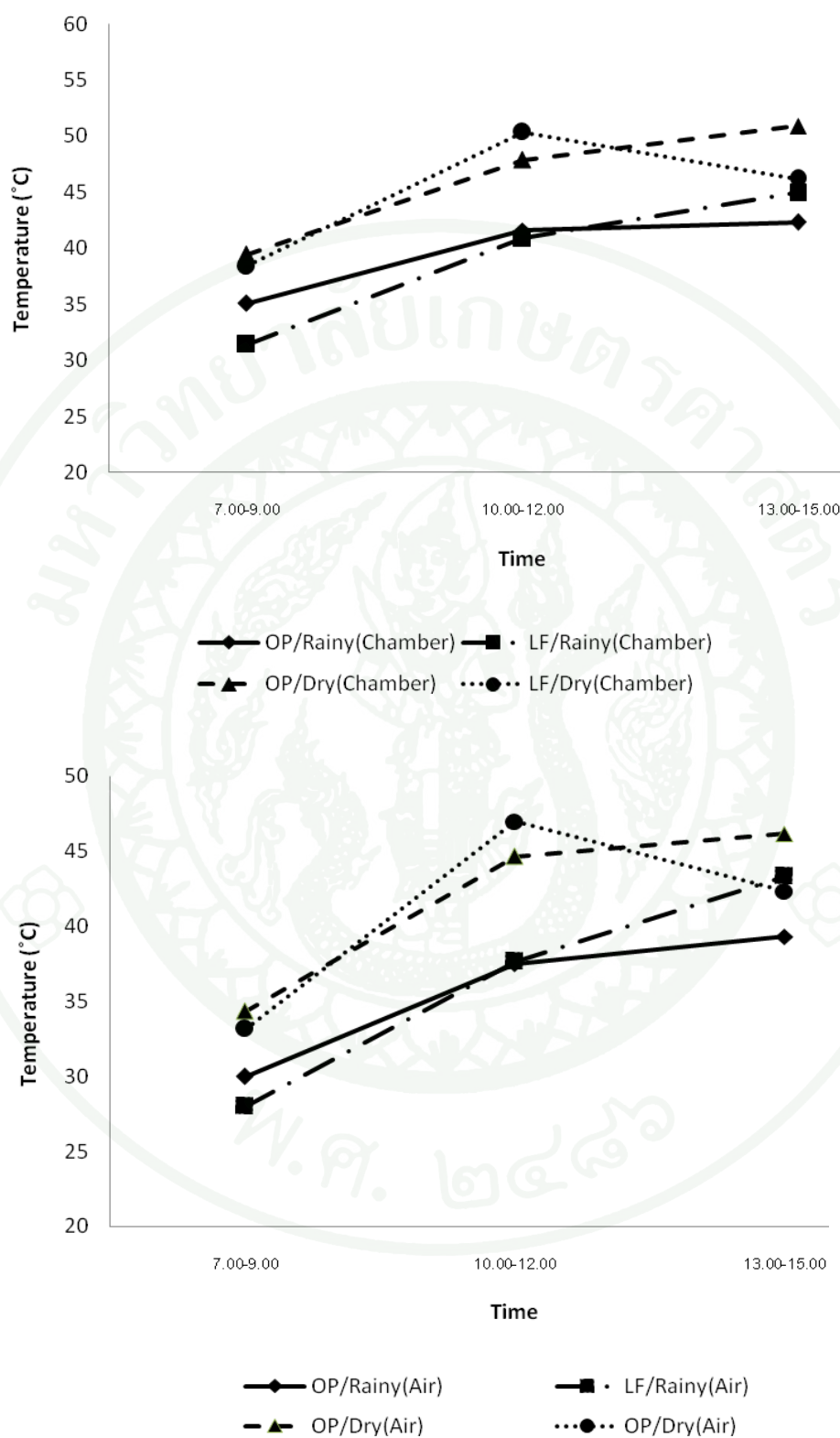
พื้นที่	หลุมฝังกลบฝน	หลุมฝังกลบแล้ง	กองเปิดฝน	กองเปิดแล้ง
CH ₄ /CO ₂ Ratio	0.238	0.287	1.176	1.582

พิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ย พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองเปิดและหลุมฝังกลบใกล้เคียงกัน ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยประมาณ 39 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 46 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยประมาณ 36 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 41 องศาเซลเซียส การศึกษาที่ผ่านมามีวัดอุณหภูมิในดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32-42 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ในช่วง 34-49 องศาเซลเซียส (สุรัตน์,2546) พบว่า การศึกษาครั้งนี้อุณหภูมิสูงกว่าที่ผ่านมา

ตารางที่ 19 อุณหภูมิใน Chamber และในบรรยากาศ

พื้นที่	อุณหภูมิในกล่อง (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิในบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)		
	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ						
-ฤดูฝน	26-48	39.09	2.440	26-45	35.61	2.780
-ฤดูแล้ง	27.5-54.5	46.16	3.264	27-48.5	40.83	3.365
2.กองเปิด						
-ฤดูฝน	27-49	39.16	2.461	26.5-46	36.33	3.533
-ฤดูแล้ง	30-56.5	46.07	4.382	28-50	41.72	3.128

แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างกองเปิดและหลุมฝังกลบไม่มีค่าแตกต่างกัน และถ้าพิจารณาตามช่วงเวลา พบว่า อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลา ต่ำสุดที่เวลา 7.00-9.00 น. และสูงสุดที่เวลา 13.00-15.00น. (ภาพที่ 11) ทั้งนี้ อุณหภูมิในบรรยากาศมีค่าต่ำกว่าในกล่อง(chamber) ประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส เนื่องจากก๊าซที่แพร่ระบายออกมาทำให้อุณหภูมิในกล่อง (chamber) สูงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ (สุรัตน์,2546) มีการศึกษาอุณหภูมิของอากาศและผิวน้ำดิน พบว่า อุณหภูมิสูงสุดพบว่าอยู่ช่วงเวลา 13.00-14.00 น.



ภาพที่ 11 อุณหภูมิในกองเปิดและหลุมฝังกลบตามช่วงเวลา (เก็บพร้อมกับตัวอย่างก๊าซ)

2. ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ บริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

วัดความเข้มข้นก๊าซชีวภาพในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิดฤดูฝนช่วงเวลา เดือนกันยายน ถึง พฤศจิกายน 2551 และฤดูแล้ง ช่วงเวลาเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2552 ซึ่งเก็บ ที่เวลา 7.00-9.00 น., 10.00-12.00 น. และ 13.00-15.00 น. ผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นก๊าซ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณกองเปิดมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝนร้อยละ 0.38 ± 0.07 และ 0.58 ± 0.06 ในฤดูแล้งร้อยละ 0.40 ± 0.09 และ 0.60 ± 0.05 ตามลำดับ บริเวณหลุมฝังกลบมี ค่าเฉลี่ยในฤดูฝนร้อยละ 0.30 ± 0.02 และ 0.26 ± 0.05 ในฤดูแล้งร้อยละ 0.31 ± 0.02 และ 0.28 ± 0.06 ตามลำดับ ความเข้มข้นก๊าซทั้งสองชนิดในบรรยากาศ บริเวณกองเปิดมีค่าสูงกว่าในหลุมฝังกลบ อย่างมีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง เนื่องจาก อัตราการแพร่กระจายบริเวณกองเปิดมีค่าสูงกว่าหลุมฝังกลบ ความเข้มข้นในบรรยากาศจึง มีค่ามากกว่าเช่นกัน และถ้าเปรียบเทียบพื้นที่เดียวกันแต่ต่างฤดู พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน สองฤดูและก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) เนื่องจาก ฤดูแล้งอากาศนิ่งมีกระแสลมน้อยกว่าฤดูฝนซึ่งมีอากาศ แปรปรวนมีฝนตกและลมที่ช่วยในการเจือจางความเข้มข้นก๊าซ ทำให้ความเข้มข้นก๊าซใน บรรยากาศฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน แต่ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในฤดูฝนและฤดูแล้งในบริเวณกอง เปิดไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) เนื่องมาจากปัจจัย ภายนอกต่าง ๆ ในช่วงการเก็บตัวอย่าง เป็นต้น

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นก๊าซชีวภาพในบรรยากาศตามช่วงเวลา คือ 7.00-9.00 น., 10.00-12.00 น. และ 13.00-15.00 น. พบว่า อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าต่ำสุดที่เวลา 7.00-9.00 น.และเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ก๊าซลอยสูงขึ้นและแพร่กระจายได้ สูงขึ้นด้วย ทำให้ช่วงเวลาเที่ยงและช่วงบ่ายมีค่าสูงกว่าเวลาเช้าเล็กน้อย

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูฝน
วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51

พื้นที่	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทน (%) (n=90)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 7.00-9.00 น.	0.27-0.31	0.290	0.29	0.0135
-10.00-12.00 น.	0.28-0.34	0.303	0.31	0.0141
-13.00-15.00 น.	0.26-0.34	0.304	0.30	0.017
เฉลี่ย	0.26-0.34	0.299	0.30	0.015
2.กองเปิด				
- 7.00-9.00 น.	0.28-0.49	0.329	0.35	0.053
-10.00-12.00 น.	0.30-0.78	0.375	0.40	0.0961
-13.00-15.00 น.	0.31-0.64	0.356	0.38	0.073
เฉลี่ย	0.28-0.78	0.354	0.38	0.074

ตารางที่ 21 ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด ในฤดูแล้ง
วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52

พื้นที่	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทน (%) (n=90)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 7.00-9.00 น.	0.26-0.31	0.293	0.29	0.013
-10.00-12.00 น.	0.29-0.36	0.314	0.32	0.0178
-13.00-15.00 น.	0.29-0.35	0.310	0.31	0.015
เฉลี่ย	0.26-0.36	0.306	0.31	0.015
2.กองเปิด				
- 7.00-9.00 น.	0.31-0.48	0.346	0.36	0.039
-10.00-12.00 น.	0.26-0.71	0.375	0.43	0.117
-13.00-15.00 น.	0.33-0.62	0.375	0.40	0.072
เฉลี่ย	0.26-0.71	0.365	0.40	0.076

ตารางที่ 22 ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบและ
กองเปิด ในฤดูฝน วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51

พื้นที่	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%) (n=90)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 7.00-9.00 น.	0.12-0.32	0.222	0.23	0.048
-10.00-12.00 น.	0.21-0.35	0.274	0.28	0.037
-13.00-15.00 น.	0.22-0.36	0.268	0.27	0.038
เฉลี่ย	0.12-0.36	0.254	0.26	0.041
2.กองเปิด				
- 7.00-9.00 น.	0.50-0.67	0.59185	0.59	0.050
-10.00-12.00 น.	0.40-0.66	0.58815	0.57	0.059
-13.00-15.00 น.	0.48-0.70	0.5962	0.59	0.055
เฉลี่ย	0.40-0.70	0.592067	0.58	0.055

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบและ
กองเปิด ในฤดูแล้ง วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52

พื้นที่	ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%) (n=90)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1.ฝังกลบ				
- 7.00-9.00 น.	0.17-0.32	0.236	0.24	0.043
-10.00-12.00 น.	0.21-0.44	0.298	0.30	0.049
-13.00-15.00 น.	0.20-0.43	0.294	0.30	0.062
เฉลี่ย	0.17-0.44	0.276	0.28	0.052
2.กองเปิด				
- 7.00-9.00 น.	0.48-0.72	0.605	0.61	0.055
-10.00-12.00 น.	0.49-0.71	0.572	0.58	0.045
-13.00-15.00 น.	0.54-0.78	0.294	0.61	0.062
เฉลี่ย	0.48-0.78	0.490	0.60	0.054

ตารางที่ 24 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

พื้นที่	หลุมฝังกลบฝน	หลุมฝังกลบแห้ง	กองเปิดฝน	กองเปิดแห้ง
CH ₄ /CO ₂ Ratio	1.154	1.107	0.655	0.667

จากตารางที่ 24 แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนต่ออัตราการแพร่กระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซมีเทนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้งและฤดูฝน ที่ 1.154 และ 1.107 เท่า ตามลำดับ และ ความเข้มข้นในบรรยากาศของมีเทนต่ำกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณกองมูลฝอยเปิดในทั้งสองฤดู ที่ 0.655 และ 0.667 เท่า ความเข้มข้นของก๊าซสองชนิดในบรรยากาศมีค่าใกล้เคียงกัน

3. อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย บริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

วัดความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบโดยเก็บในฤดูฝน ช่วงเวลา เดือนกันยายน ถึง พฤศจิกายน 2551 และฤดูแล้ง ช่วงเวลาเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2552 ในหนึ่งตัวอย่างเก็บทุก ๆ ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 14.00 น. เก็บวันเดียวกันกับการเก็บก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

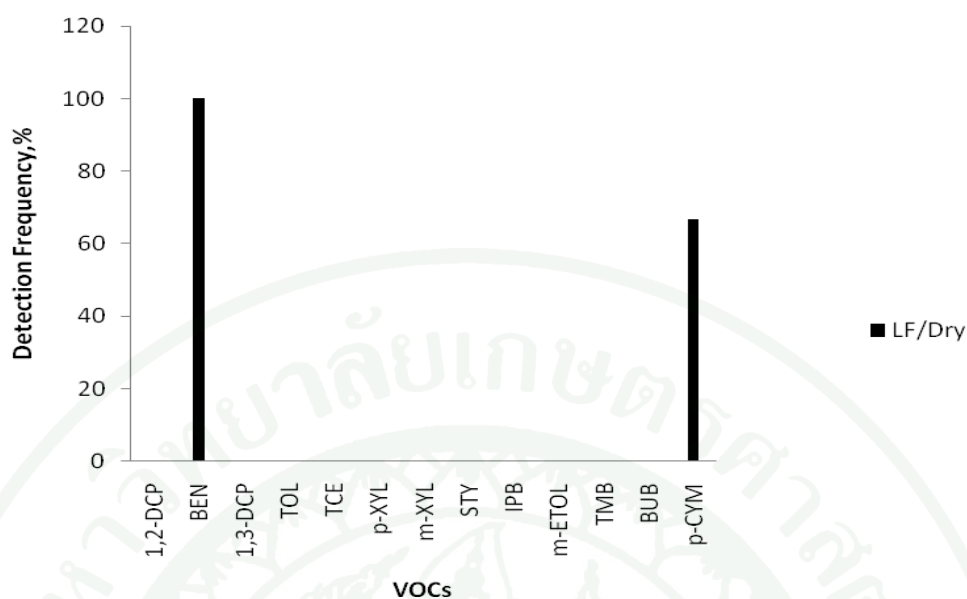
ในการเก็บตัวอย่างนี้ นำมาวิเคราะห์พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายมากมาย อาทิเช่น Benzene, Thiofuran, Chloropropene, Toluene, Ethylpentane, Tetramethylbutane, Dimethylcyclohexane, Dimethyloctane, Tetrachloroethylene, Dimethylpentane, Ethylbenzene, Xylene, Styrene, Isopropylbenzene, Ethyltoluene, Butylcyclohexane, Trimethylbenzene, Cymene, Trithiapentane, Butylbenzene, Diethylbenzene, Cyclopropylbenzene, Propyl hexanoate, Ethyl heptanoate, Methylacetophenone เป็นต้น จึงต้องคัดเลือกสารอินทรีย์ระเหยที่พบความเข้มข้นสูงและตรวจพบบ่อยมากและตรงกับสารละลายสารอินทรีย์ระเหยมาตรฐาน มาวิเคราะห์หาปริมาณและหาอัตราการแพร่กระจายต่อไป

สารอินทรีย์ระเหยที่เลือกมา ได้แก่ 1,2-Dichloropropane, Benzene (CAS) Phene, 1,3-Dichloropropane, Toluene, Tetrachloroethylene, p-Xylene, m-Xylene, Styrene, Isopropylbenzene, m-Ethyltoluene, 1,3,5-Trimethylbenzene, sec-Butylbenzene, p-Cymene และ o-Dichlorobenzene

ตารางที่ 25 อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง

สาร	อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย (mg/m ² .d)(n=18)				
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1,2-Dichloropropane	-	-	-	-	-
Benzene (CAS) Phene	17.768	34.355	29.143	28.791	3.563
1,3-Dichloropropane	-	-	-	-	-
Toluene	-	-	-	-	-
Tetrachloroethylene	-	-	-	-	-
p-Xylene	-	-	-	-	-
m-Xylene	-	-	-	-	-
Styrene	-	-	-	-	-
Isopropylbenzene	-	-	-	-	-
m-Ethyltoluene	-	-	-	-	-
1,3,5-Trimethylbenzene	-	-	-	-	-
sec-Butylbenzene	-	-	-	-	-
p-Cymene	1.622	2.188	1.979	1.941	0.205
o-Dichlorobenzene	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - หมายความว่า ตรวจไม่พบ



ภาพที่ 12 ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง

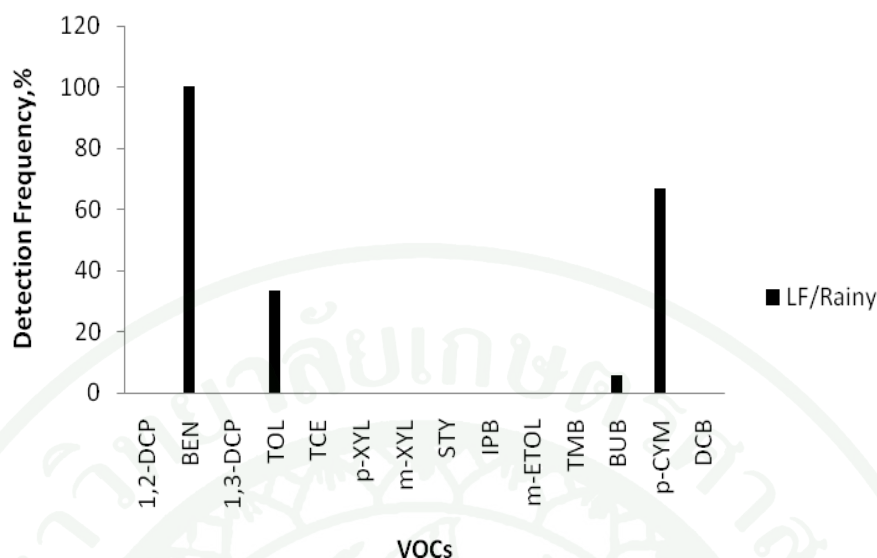
ผลการทดลอง พบว่า อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้งและความถี่ของการตรวจพบแสดงในตารางที่ 25 และภาพที่ 12 ตามลำดับ พบสารอินทรีย์ระเหยคือ เบนซีน (Benzene (CAS) Phene) มีค่าเฉลี่ย 28.791 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบทั้งหมดทุกตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 100 และ p-Cymene มีค่าเฉลี่ย 1.941 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 66.67 ของตัวอย่างทั้งหมด

อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนและความถี่ของการตรวจพบแสดงในตารางที่ 26 และภาพที่ 13 ตามลำดับ พบสารอินทรีย์ระเหยคือ เบนซีน (Benzene (CAS) Phene) มีค่าเฉลี่ย 26.398 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบทั้งหมดทุกตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 100 โทลูอิน (Toluene) มีค่าเฉลี่ย 2.493 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 33.33 Trimethylbenzene มีค่าเฉลี่ย 0.486 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 5.56 และ p-Cymene มีค่าเฉลี่ย 1.853 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 66.67 ของตัวอย่างทั้งหมด

ตารางที่ 26 อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝน

สาร	อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย (mg/m ² /d)(n=18)				
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1,2-Dichloropropane	-	-	-	-	-
Benzene (CAS) Phene	22.196	32.946	26.409	26.398	3.555
1,3-Dichloropropane	-	-	-	-	-
Toluene	2.362	2.683	2.459	2.493	0.120
Tetrachloroethylene	-	-	-	-	-
p-Xylene	-	-	-	-	-
m-Xylene	-	-	-	-	-
Styrene	-	-	-	-	-
Isopropylbenzene	-	-	-	-	-
m-Ethyltoluene	-	-	-	-	-
1,3,5-Trimethylbenzene	0.486	0.486	0.486	0.486	0.000
sec-Butylbenzene	-	-	-	-	-
p-Cymene	1.608	2.125	1.857	1.853	0.139
o-Dichlorobenzene	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - หมายความว่า ตรวจไม่พบ



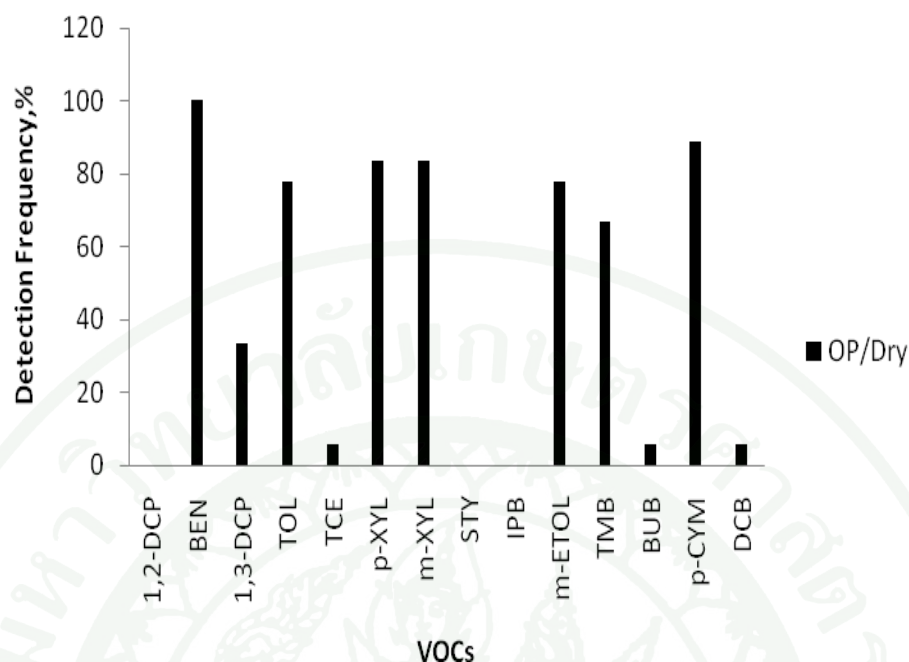
ภาพที่ 13 ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝน

อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองเปิดในฤดูแล้งและความถี่ของการตรวจพบแสดงในตารางที่ 27 และภาพที่ 14 ตามลำดับ พบสารอินทรีย์ระเหย คือ เบนซีน (Benzene (CAS) Phene) มีค่าเฉลี่ย 38.276 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบทั้งหมดทุกตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 100 1,3-Dichloropropane มีค่าเฉลี่ย 4.594 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 33.33 โทลูอิน (Toluene) มีค่าเฉลี่ย 2.911 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 77.78 Tetrachloroethylene มีค่าเฉลี่ย 0.028 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 5.56 p-Xylene มีค่าเฉลี่ย 0.625 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 83.33 m-Xylene มีค่าเฉลี่ย 21.741 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 83.33 Ethyltoluene มีค่าเฉลี่ย 2.611 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 77.78 Trimethylbenzene มีค่าเฉลี่ย 1.449 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 66.67 sec-Butylbenzene มีค่าเฉลี่ย 1.880 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 5.56 p-Cymene มีค่าเฉลี่ย 6.623 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 88.89 ของตัวอย่างทั้งหมด และ o-Dichlorobenzene มีค่าเฉลี่ย 3.20 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 5.56 ของตัวอย่างทั้งหมด

ตารางที่ 27 อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูแล้ง

สาร	อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย (mg/m ² /d)(n=18)				
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1,2-Dichloropropane	-	-	-	-	-
Benzene (CAS) Phene	32.970	44.694	37.916	38.276	3.438
1,3-Dichloropropane	4.302	5.154	4.564	4.594	0.324
Toluene	2.458	4.397	2.605	2.911	0.643
Tetrachloroethylene	0.028	0.028	0.028	0.028	0.000
p-Xylene	0.172	1.258	0.617	0.625	0.324
m-Xylene	17.838	27.8118	21.656	21.741	2.981
Styrene	-	-	-	-	-
Isopropylbenzene	-	-	-	-	-
m-Ethyltoluene	1.809	4.727	2.386	2.611	0.782
1,3,5-Trimethylbenzene	0.259	3.744	1.063	1.449	1.129
sec-Butylbenzene	1.880	1.880	1.880	1.880	0.000
p-Cymene	2.561	19.047	4.100	6.623	5.451
o-Dichlorobenzene	3.200	3.200	3.200	3.200	0.000

หมายเหตุ : - หมายความว่า ตรวจไม่พบ



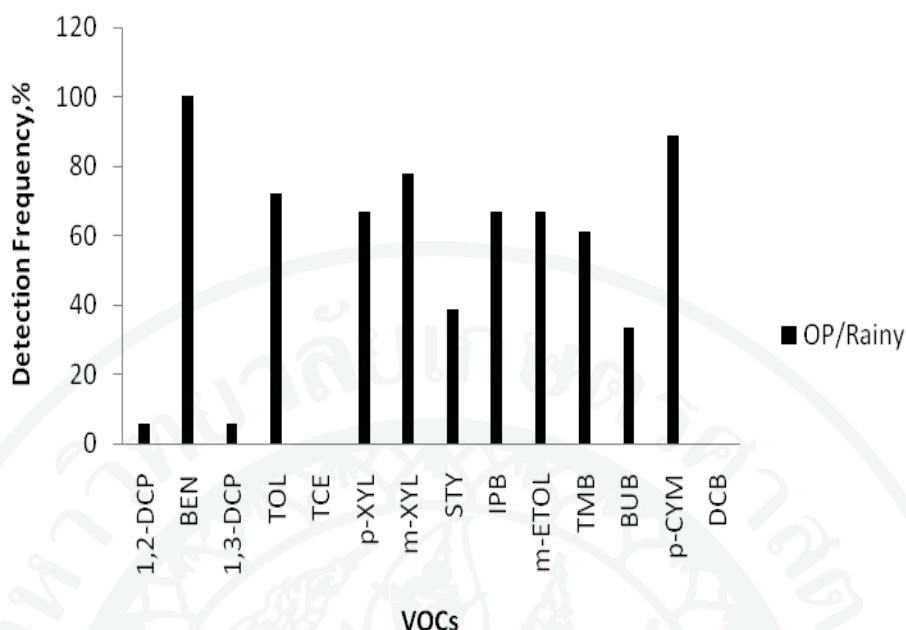
ภาพที่ 14 ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูแล้ง

อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองเปิดในฤดูฝนและความถี่ของการตรวจพบแสดงในตารางที่ 28 และภาพที่ 15 ตามลำดับ พบสารอินทรีย์ระเหย คือ o-Dichlorobenzene มีค่าเฉลี่ย 1.883 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 5.56 เบนซีน (Benzene (CAS) Phene) มีค่าเฉลี่ย 34.835 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบทั้งหมดทุกตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 100 1,3-Dichloropropane มีค่าเฉลี่ย 5.001 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 5.56 โทลูอิน (Toluene) มีค่าเฉลี่ย 4.034 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 72.22 p-Xylene มีค่าเฉลี่ย 0.498 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 66.67 m-Xylene มีค่าเฉลี่ย 25.315 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 77.78 Styrene มีค่าเฉลี่ย 2.521 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 38.89 Ethyltoluene มีค่าเฉลี่ย 2.170 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 66.67 Isopropylbenzene มีค่าเฉลี่ย 1.919 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 66.67 Trimethylbenzene มีค่าเฉลี่ย 1.166 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 61.11 sec-Butylbenzene มีค่าเฉลี่ย 2.151 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 33.33 และ p-Cymene มีค่าเฉลี่ย 2.825 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตรวจพบคิดเป็นร้อยละ 88.89 ของตัวอย่างทั้งหมด

ตารางที่ 28 อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝน

สาร	อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย (mg/m ² /d)(n=18)				
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
1,2-Dichloropropane	1.883	1.883	1.883	1.883	0.000
Benzene (CAS) Phene	29.091	37.875	34.911	34.835	2.222
1,3-Dichloropropane	5.001	5.001	5.001	5.001	0.000
Toluene	2.517	5.166	4.086	4.034	0.870
Tetrachloroethylene	-	-	-	-	-
p-Xylene	0.208	1.439	0.3359	0.498	0.363
m-Xylene	16.492	34.045	22.672	25.315	7.127
Styrene	2.314	2.704	2.539	2.521	0.137
Isopropylbenzene	1.219	2.873	1.878	1.919	0.359
m-Ethyltoluene	1.551	2.912	2.180	2.170	0.349
1,3,5-Trimethylbenzene	0.666	2.086	1.013	1.166	0.464
sec-Butylbenzene	1.755	2.633	2.068	2.151	0.390
p-Cymene	1.828	4.637	2.267	2.825	1.006
o-Dichlorobenzene	-	-	-	-	-

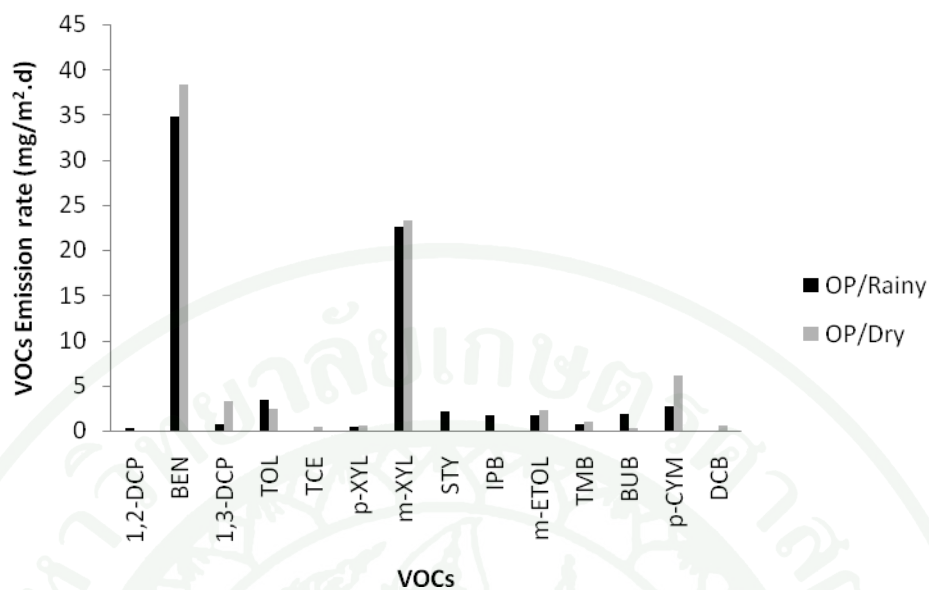
หมายเหตุ : - หมายความว่า ตรวจไม่พบ



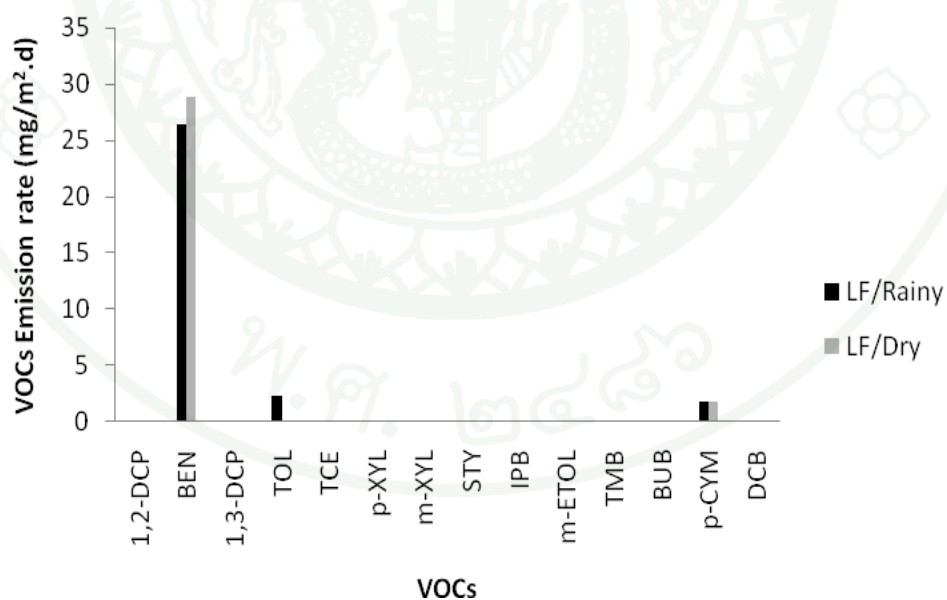
ภาพที่ 15 ร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝน

เมื่อพิจารณาอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยในพื้นที่เดียวกันแต่ต่างฤดู (ภาพที่ 16 และ 17) พบว่า บริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนสามารถตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่า อาจเนื่องจาก ความชื้นสูงในกอง/หลุมฝังกลบ สูงจึงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ดี (Merz and Stone (1964) และอาจเนื่องจากองค์ประกอบของมูลฝอยที่แตกต่างกันในแต่ละฤดู (มณีรัตน์, 2549) ทำให้เกิดสารที่ต่างกัน ได้ (มณีรัตน์, 2549) ส่วนสารที่ตรวจพบเหมือนกันคือ Benzene และ p-Cymene ซึ่ง Benzene

โดยมณีรัตน์, 2549 รายงานว่า ปริมาณการแพร่กระจายสูงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ส่วน บริเวณกองมูลฝอยเปิด พบว่า ในฤดูฝนและฤดูแล้งตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยคล้าย ๆ กัน แตกต่าง กันบ้างเล็กน้อย และสามารถตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่าในหลุมฝังกลบ เพราะ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยในช่วงเวลานั้น และบริเวณกองเปิดมีค่าสูงกว่าในหลุมฝังกลบ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$; ตารางผนวกที่ 3) เนื่องจากบริเวณหลุมฝังกลบมีวัสดุกลบทับ ทำให้ลด อัตราการแพร่กระจายได้มาก (อัญชรี, 2547)

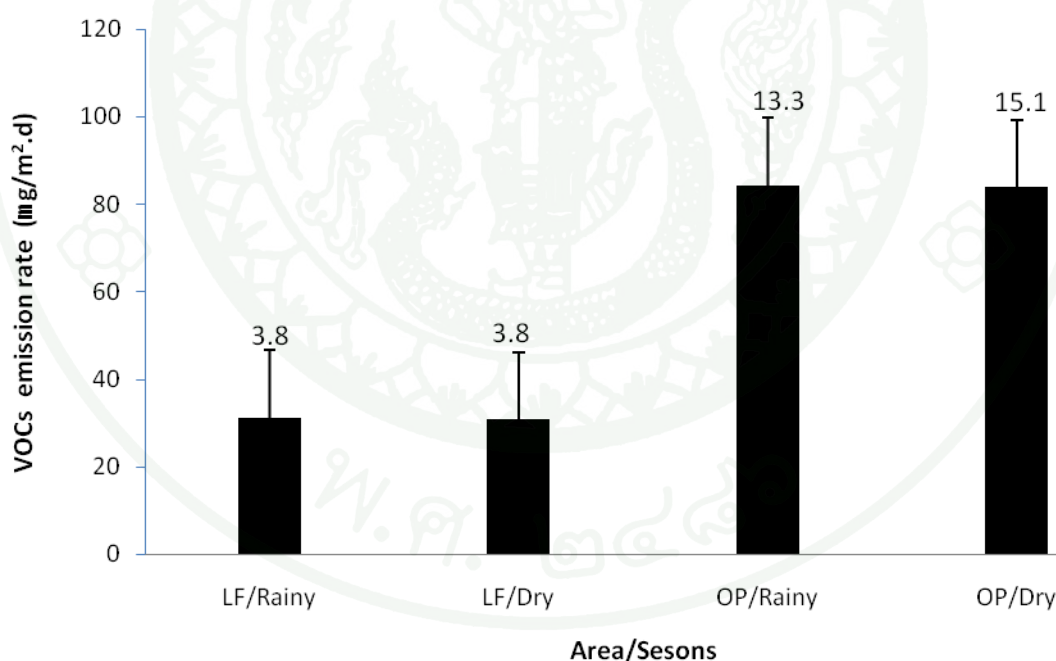


ภาพที่ 16 อัตราการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดในฤดูฝนและฤดูแล้ง



ภาพที่ 17 อัตราการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนและฤดูแล้ง

จากกราฟแสดงร้อยละการตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดและบริเวณหลุมฝังกลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า สารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบทุกตัวคือ เบนซีน และมีอัตราการแพร่กระจายมากที่สุดทั้งสองบริเวณและทั้งสองฤดู เนื่องจาก เบนซีนเป็นสารตั้งต้นที่จะทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่น ๆ ต่อไป ซึ่งตรงกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบอัตราการแพร่กระจายเบนซีนมากที่สุด และแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ระเหยประเภทเบนซีน โทลูอิน และไตรคลอโรเอทิลีน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากพลาสติกสด (มณีรัตน์, 2549) และการศึกษาอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากหลุมฝังกลบมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี พบว่า กองมูลฝอยเปิดมีอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยในรูปก๊าซของเบนซีนสูงที่สุด (อันชริย์, 2547) ส่วนในเมืองกวางเจา ประเทศจีน พบอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจำนวน 38 ชนิด ในฤดูหนาว และ 60 ชนิด ในฤดูร้อน บริเวณบรรยากาศเหนือหลุมฝังกลบมูลฝอย Datianshan โดยกลุ่มหลักที่พบ คือ กลุ่ม Aromatic Hydrocarbon เช่นเดียวกันทั้ง 2 ฤดูกาล (Zou, 2003)



ภาพที่ 18 อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยรวมทั้งหมดทุกชนิดในแต่ละพื้นที่แต่ละฤดู

จากภาพที่ 18 จะเห็นได้ว่า อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ในกองเปิดฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่า 84.3 ± 13.3 และ 83.9 ± 15.1 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 31.2 ± 3.8 และ 30.7 ± 3.8 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาต่างพื้นที่กัน พบว่า อัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดมีค่าสูงกว่าหลุมฝังกลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง อย่างมีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) เนื่องจาก บริเวณหลุมฝังกลบมีวัสดุกลบทับทำให้ลดอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซได้ ถ้าเปรียบเทียบพื้นที่เดียวกันและต่างฤดูกัน พบว่า อัตราการแพร่ระบาดของก๊าซที่ทั้งสองชนิดไม่มีความ แตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) ทั้งสองฤดู เนื่องจาก วัสดุกลบทับหน้าผิวทำให้อัตราการแพร่ระบาดของบริเวณหลุมฝังกลบทั้งสองฤดูมีค่าใกล้เคียงกัน

4. ระดับการทำลายดีเอ็นเอพืช(พลูด่าง) บริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

เก็บตัวอย่างพืช(พลูด่าง) ชั่วโมงที่ 0 และชั่วโมงที่ 96 ฤดูละสองครั้ง ทำการทดลองในฤดูฝนครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 26-30 กันยายน 2551 ครั้งที่ 2 วันที่ 20-24 ตุลาคม 2551 และในฤดูแล้งครั้งที่ 1 ทดสอบระหว่างวันที่ 2-6 มีนาคม 2552 ครั้งที่ 2 วันที่ 25-29 เมษายน 2552 ผลการทำลายดีเอ็นเอพืช(พลูด่าง) แสดงในตารางที่ 18 พบว่า ในฤดูฝนระดับการทำลายดีเอ็นเอพืชชุดควบคุม ชั่วโมงที่ 0 มีค่าร้อยละ 13.2 ± 4.5 ชั่วโมงที่ 96 มีค่าร้อยละ 18.8 ± 3.7 บริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิด มีค่าร้อยละ 31.4 ± 4.1 และ 42.9 ± 10.5 ตามลำดับ ในฤดูแล้งชุดควบคุม ชั่วโมงที่ 0 มีค่าร้อยละ 19.3 ± 2.7 ชั่วโมงที่ 96 มีค่าร้อยละ 22.8 ± 2.6 บริเวณหลุมฝังกลบและกองเปิดมีค่าร้อยละ 41.7 ± 10.5 และ 60.6 ± 13.5 ตามลำดับ สรุปได้ว่า ระดับการทำลายดีเอ็นเอบริเวณกองเปิดมีค่าสูงกว่าบริเวณหลุมฝังกลบ ทั้งในฤดูฝนและฤดู แล้ง และบ่งชี้ว่าทั้งสองบริเวณมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมที่ระยะเวลาสัมผัส 96 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) เนื่องจากอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิในกองเปิดมีค่าสูงกว่าหลุมฝังกลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง (ตารางที่ 19)

บริเวณบ่อกำจัดขยะมีการทำลายดีเอ็นเอของพลูด่างสูงกว่าชุดควบคุม ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) ส่วนบริเวณกองเปิด (ร้อยละ 43-61) มีค่าสูงกว่าในหลุมฝังกลบ (ร้อยละ 31-42) ถ้าเปรียบเทียบตามฤดูกาลพบว่าฤดูแล้ง (ร้อยละ 42-61) มีค่าสูงกว่าฤดูฝน (ร้อยละ 31-43) ทั้งสองบริเวณ ($P < 0.05$; ตารางผนวกที่ จ3) ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพ (ตารางที่ 14-17) ความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในบรรยากาศ (ตารางที่ 20-23) และอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหย (ตารางที่ 25-28) ถ้าเปรียบเทียบกับในการศึกษาห้องปฏิบัติการ (ประดิษฐ์, 2551) การทำลายดีเอ็นเอของพลูด่างในบ่อกำจัดขยะจริงมีค่าสูงกว่าการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (ร้อยละ 37 ที่ 144 ชั่วโมง ความเข้มข้นมีเทนร้อยละ 10) ทั้งนี้เนื่องจากในห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมปัจจัย

แวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ ใต้ดิน ซึ่งระดับการทำลายดีเอ็นเอของพืชมีปัจจัยอื่นนอกเหนือจากก๊าซชีวภาพ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง สารพิษอื่น ๆ เป็นต้น

ตารางที่ 29 การทำลายดีเอ็นเอพืชชุดควบคุม

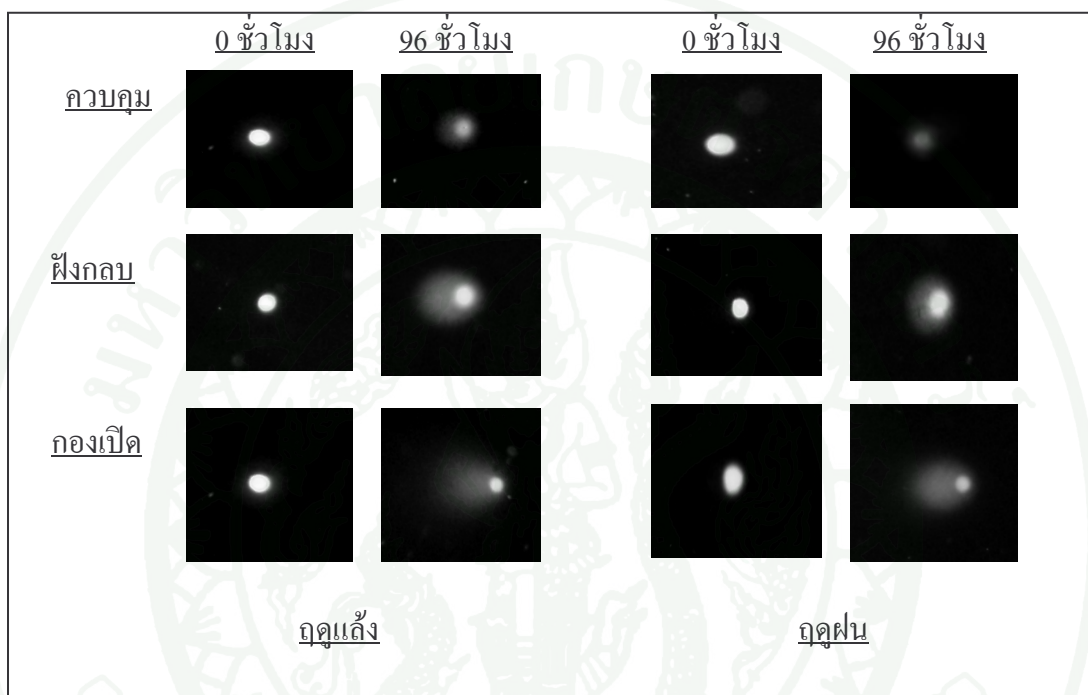
เวลา	การทำลายดีเอ็นเอพืชชั่วโมงที่ 0 (%)				การทำลายดีเอ็นเอพืชระยะสัมผัส 96 ชั่วโมง (%)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
ฤดูฝน								
-26-30/09/51	5.8-20.7	14.7	12.7	4.82	13.2-22.2	20.2	17.6	4.23
-20-24/10/51	6.6-22.5	14.8	13.6	5.25	13.6-26.0	17.4	19.9	2.91
รวม	5.8-22.5	14.8	13.2	4.94	13.2-26.0	18.5	18.8	3.68
ฤดูแล้ง								
-2-6/03/52	15.4-23.8	19.4	18.8	3.13	19.1-25.6	23.6	22.1	2.80
-25-29/04/52	16.8-27.3	18.3	19.9	2.34	20.0-28.7	22.9	23.5	2.35
รวม	15.4-27.3	18.8	19.3	2.72	19.1-28.7	23.1	22.8	2.56

ตารางที่ 30 การทำลายดีเอ็นเอพืชบริเวณกองเปิดและหลุมฝังกลบที่ระยะเวลาสัมผัส 96 ชั่วโมง

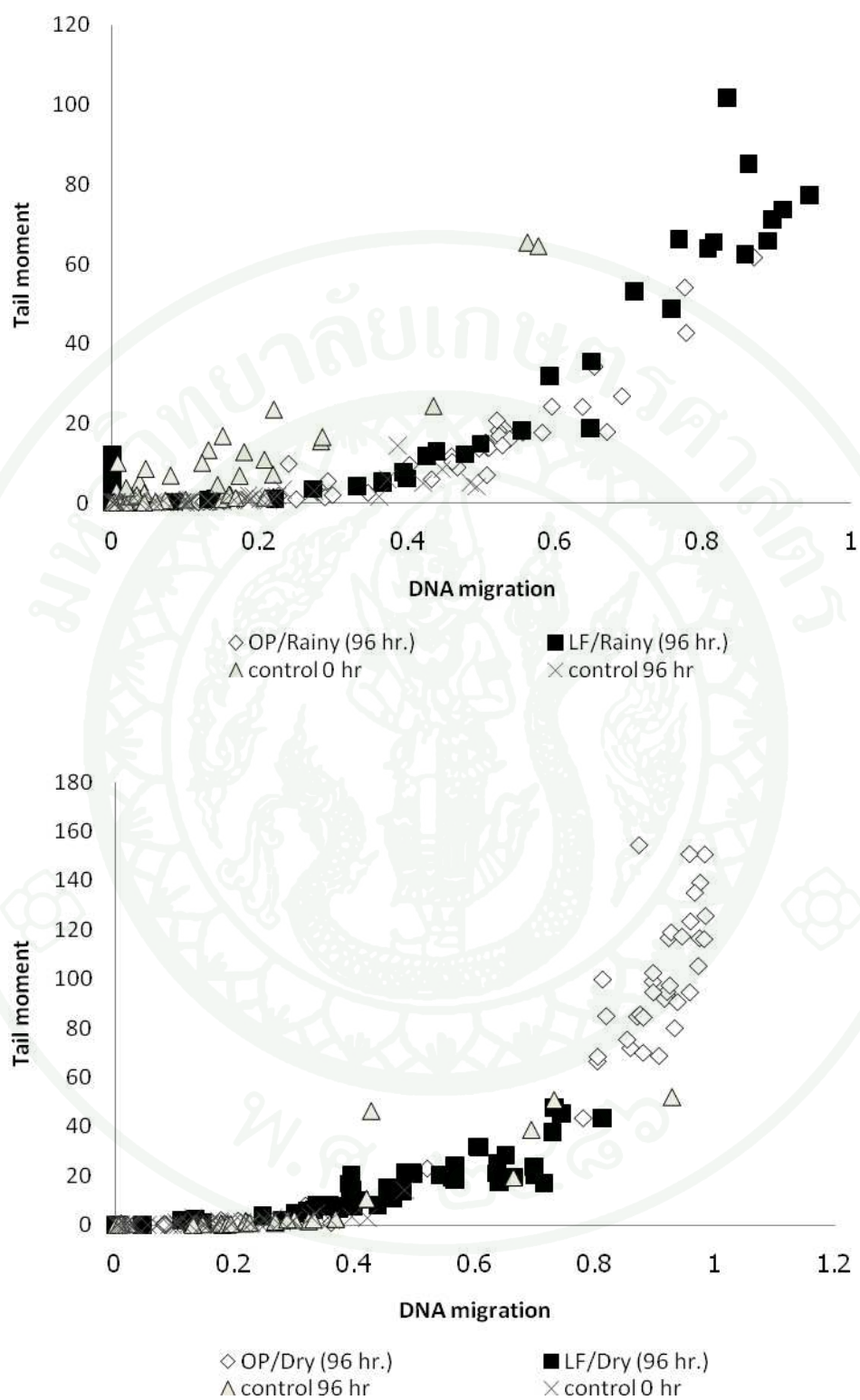
เวลา	กองเปิด (%)				หลุมฝังกลบ (%)			
	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	ค่ากลาง	เฉลี่ย	SD
ฤดูฝน								
-26-30/09/51	33.1-62.0	36.9	43.5	10.92	27.7-39.4	32.0	32.1	3.38
-20-24/10/51	31.5-64.5	37.7	42.3	10.60	26.0-41.7	28.8	30.6	4.71
รวม	31.5-64.5	37.0	42.9	10.54	26.0-41.7	31.5	31.4	4.11
ฤดูแล้ง								
-2-6/03/52	35.0-78.2	66.0	61.7	13.87	30.1-58.0	38.6	41.4	11.30
-25-29/04/52	39.2-76.2	63.7	59.6	13.71	29.9-59.8	41.2	42.1	10.22
รวม	35.0-78.2	64.6	60.6	13.54	29.9-59.8	39.9	41.7	10.51

เมื่อพิจารณาจากกราฟระหว่างการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ (tail moment) และระดับการทำลายดีเอ็นเอพืชพลูต่าง (DNA migration) พบว่า ในกองเปิดฤดูฝนค่าการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ (tail moment) มีการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอน้อยกว่ากองเปิดฤดูแล้ง ในหลุมฝังกลบการเคลื่อนที่ที่

เอ็นเอในฤดูฝนและฤดูแล้งไม่แตกต่างกัน ชุดควบคุมทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งก็ไม่มี ความแตกต่างกันของการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับระดับการทำลายดีเอ็นเอ คือ เมื่อระดับการทำลายดีเอ็นเอสูงการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอก็มีค่าสูง ระดับการทำลายดีเอ็นเอต่ำการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอก็ต่ำด้วย ถ้ามีการเคลื่อนที่มากแสดงว่ามีการทำลายดีเอ็นเอมากเช่นกัน



ภาพที่ 19 ตัวอย่างการทำลายดีเอ็นเอพลูต่าง



ภาพที่ 20 กราฟการเคลื่อนที่ของดีเอ็นเอ และระดับการทำลายดีเอ็นเอพีช(พลูต่าง)

5. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหยกับการทำลายดีเอ็นเอพีซี (พลุด่าง)

จากการทดลองโดยให้สมมุติฐานว่าไม่เกิดภาวะ Synergistic effect ของพลุด่างหรือการเกิดภาวะส่งเสริมซึ่งกันและกันของสาร จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับการทำลายดีเอ็นเอและอัตราการแพร่กระจายก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหยดังสมการต่อไปนี้คือ

$$\text{ก๊าซมีเทน } y = 11.06x(\text{CH}_4) + 17.99, R^2 = 0.807 \quad (4)$$

$$\text{และคาร์บอนไดออกไซด์ } y = 8.193x(\text{CO}_2) + 26.99, R^2 = 0.777 \quad (5)$$

$$\text{สารอินทรีย์ระเหย } y = 0.342x(\text{VOCs}) + 23.69, R^2 = 0.733 \quad (6)$$

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับการทำลายดีเอ็นเอและความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในบรรยากาศ ดังสมการต่อไปนี้ คือ

$$\text{ก๊าซมีเทน } y = 76.97x(\text{CH}_4) + 18.08, R^2 = 0.703 \quad (7)$$

$$\text{และคาร์บอนไดออกไซด์ } y = 52.55x(\text{CO}_2) + 21.40, R^2 = 0.789 \quad (8)$$

โดยที่

y = ร้อยละระดับการทำลายดีเอ็นเอ

x = $\ln \text{CO}_2$ หรือ $\ln \text{CH}_4$ emission ($\text{g/m}^2.\text{d}$) และ VOCs emission ($\text{mg/m}^2.\text{d}$) และความเข้มข้นก๊าซชีวภาพในบรรยากาศ (%)

ตัวอย่างการคำนวณ

หากการทำลายดีเอ็นเอที่มีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่า $50 \text{ g/m}^2/\text{d}$ และมีอัตราการการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยมีค่า $5.0 \text{ mg/m}^2.\text{d}$ และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในบรรยากาศทั้งสองชนิดมีค่า 0.5%

ดังนั้น $y = 11.06x + 17.99$ (1) ถ้า CH_4 emission = $50 \text{ g/m}^2.\text{d}$

จะได้ $x = 3.91$ ดังนั้น $y = 61.2$, การทำลายดีเอ็นเอร้อยละ 61.2

$y = 8.193x + 26.99$ (2) ถ้า CO_2 emission = $50 \text{ g/m}^2.\text{d}$

จะได้ $x = 3.91$ ดังนั้น $y = 59.0$, การทำลายดีเอ็นเอร้อยละ 59.0

$$y = 0.342x + 23.69 \quad (3) \quad \text{ถ้า VOCs emission} = 5.0 \text{ mg/m}^2.\text{d}$$

จะได้ $x = 5.0$ ดังนั้น $y = 25.0$, การทำลายดีเอ็นเอร้อยละ 25.0

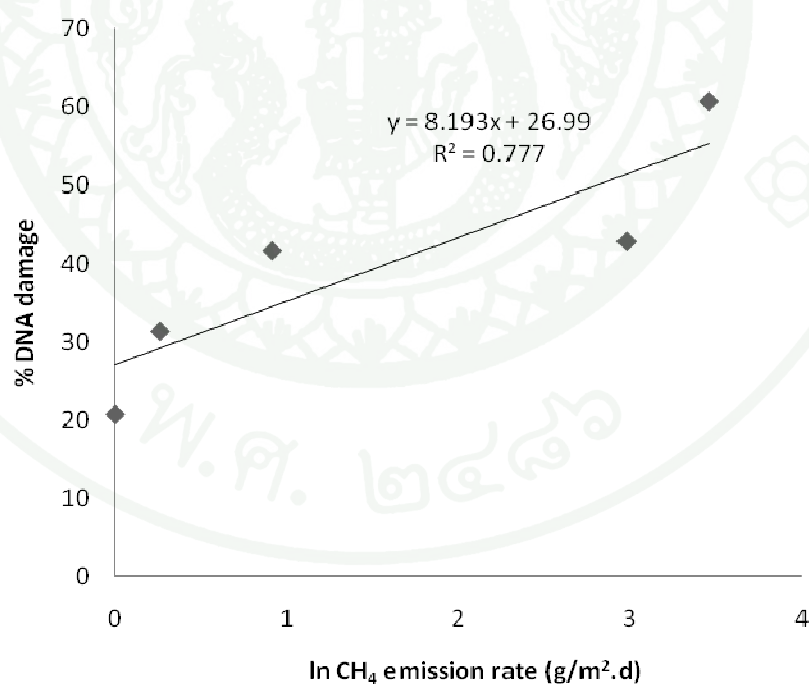
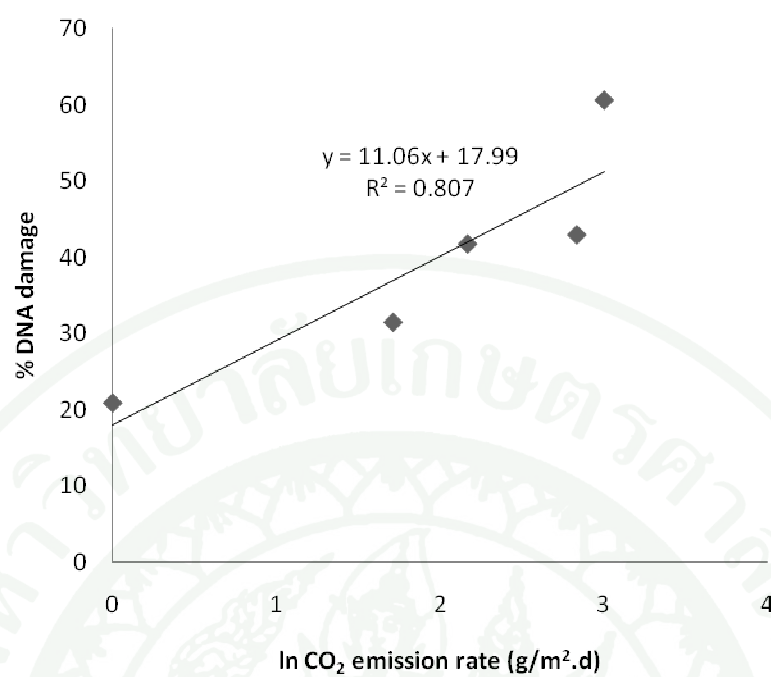
$$y = 76.97x + 18.08 \quad (4) \quad \text{ถ้า ความเข้มข้นก๊าซมีเทน} = 0.5 \%$$

จะได้ $x = 0.005$ ดังนั้น $y = 56.6$, การทำลายดีเอ็นเอร้อยละ 56.6

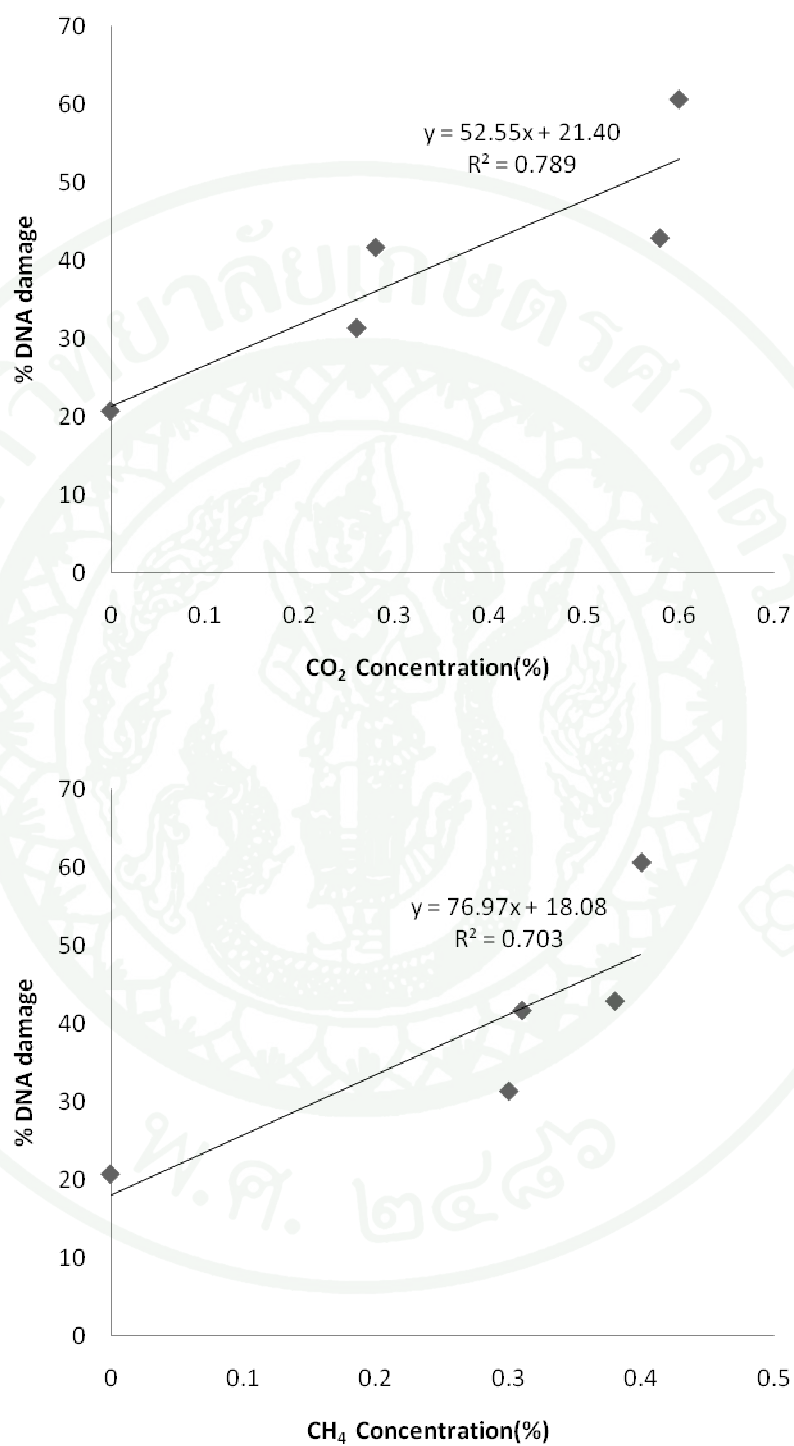
$$y = 52.55x + 21.40 \quad (5) \quad \text{ถ้า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์} = 0.5 \%$$

จะได้ $x = 0.5$ ดังนั้น $y = 47.7$, การทำลายดีเอ็นเอร้อยละ 47.7

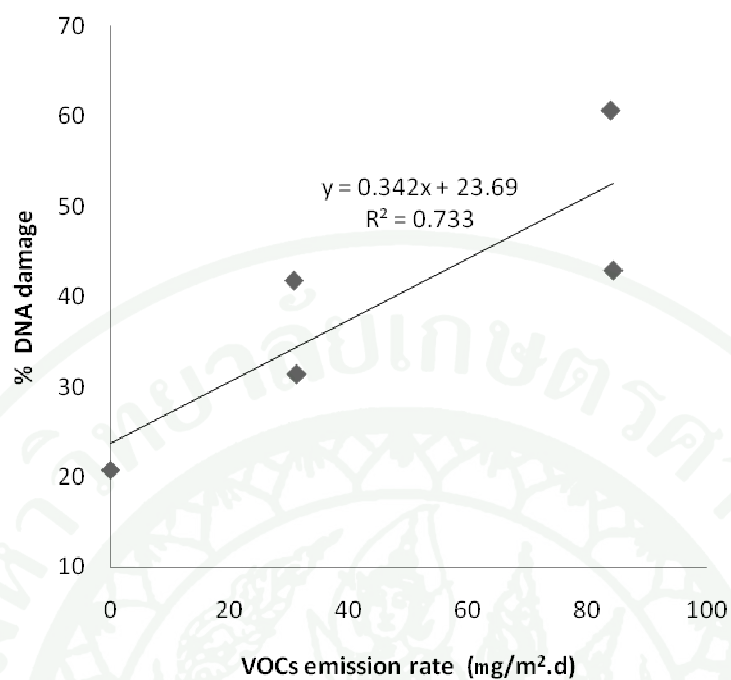
จากสมการที่ (1) ถึง (5) พบว่า การทำลายดีเอ็นเอมีความสัมพันธ์กับอัตราการแพร่กระจายของก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหย และความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพในบรรยากาศ มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเป็นสมการเส้นตรง



ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ลอการิทึมของอัตราการแพร่ระบายก๊าซชีวภาพ และร้อยละของระดับการทำลายดีเอ็นเอ



ภาพที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นก๊าซชีวภาพในบรรยากาศ และร้อยละของระดับการทำลายดีเอ็นเอ



ภาพที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย และร้อยละของระดับการทำลายดีเอ็นเอ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดบริเวณกองเปิดในฤดูแล้งเฉลี่ย 31.8 ± 14.1 และ 20.1 ± 8.7 กรัม/ตร.ม./วัน ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนเฉลี่ย 1.3 ± 1.6 และ 5.5 ± 1.2 กรัม/ตร.ม./วัน ตามลำดับ พบว่า อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกองเปิดมีค่าสูงกว่าในหลุมฝังกลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ถ้าเทียบพื้นที่เดียวกันแต่ต่างฤดู พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

2. ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณกองเปิดมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝนร้อยละ 0.38 ± 0.07 และ 0.58 ± 0.06 ในฤดูแล้งร้อยละ 0.40 ± 0.09 และ 0.60 ± 0.05 บริเวณหลุมฝังกลบมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝนร้อยละ 0.30 ± 0.02 และ 0.26 ± 0.05 ในฤดูแล้งร้อยละ 0.31 ± 0.02 และ 0.28 ± 0.06 ความเข้มข้นก๊าซทั้งสองชนิดในบรรยากาศ บริเวณกองเปิดมีค่าสูงกว่าในหลุมฝังกลบ อย่างมีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง เปรียบเทียบพื้นที่เดียวกันแต่ต่างฤดู พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสองฤดูและก๊าซมีเทนบริเวณหลุมฝังกลบฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ($P < 0.05$) แต่บริเวณกองเปิดก๊าซมีเทนในสองฤดูไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$)

3. อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ในกองเปิดฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่า 84.3 ± 13.3 และ 83.9 ± 15.1 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และบริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 31.2 ± 3.8 และ 30.7 ± 3.8 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาต่างพื้นที่กัน พบว่า อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยบริเวณกองมูลฝอยเปิดมีค่าสูงกว่าหลุมฝังกลบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง อย่างมีความแตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ถ้าเปรียบเทียบพื้นที่เดียวกันและต่างฤดูกัน พบว่า อัตราการแพร่กระจายก๊าซที่ทั้งสองชนิดไม่มีความ แตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้งสองฤดู และสารที่พบมากที่สุดคือ เบนซีน

4. ระดับการทำลายดีเอ็นเอของพื้ด่างมีค่าเฉลี่ยบริเวณกองเปิดสูงกว่าหลุมฝังกลบ ในฤดูแล้งมีค่าร้อยละ 60.6 ± 13.5 และ 41.7 ± 10.5 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าในฤดูฝน ($P < 0.05$) ที่มีค่าร้อยละ

42.9±10.5 และ 31.4±4.1 ตามลำดับ และบริเวณบ่อกำจัดขยะมีค่าสูงกว่าหุดควบคุมที่ระยะเวลาสัมผัส 96 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

5. ระดับการทำลายดีเอ็นเอพีช(พลูต่าง)แปรตามกับอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ระเหยในบ่อกำจัดขยะมูลฝอย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงหรือความเป็นพิษต่อพืชในสถานที่ต่างๆ ที่มีการปลดปล่อยสารที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการตรวจวัดอัตราการแพร่ระบาดของก๊าซตลอดทั้งวัน (ทั้งกลางวันและกลางคืน) เพื่อจะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบมูลฝอยตลอดทั้งวัน ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น
2. วิธีการโคเมทในพืชที่นำมาใช้ในการติดตามผลกระทบจากหลุมฝังกลบจริง ต้องทำการศึกษาในแต่ละพื้นที่ แต่ละช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา เพราะแต่ละพื้นที่แต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้สามารถใช้ประเมินความเป็นพิษต่อพืชเบื้องต้นได้เท่านั้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2547. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. ศูนย์บริการวิชาการแห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2548-2551,ระบบบริการสารสนเทศภูมิอากาศ,กรมอุตุนิยมวิทยา

กิตติพล จิตตานุกูล,2547 : อิทธิพลของน้ำชะมูลฝอยต่อมีเทนออกซิเดชันในชั้นดินกลบทับมูลฝอยที่
มีการปลูกพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทัศนีย์ เอี่ยมกมล, ณรงค์ศักดิ์ พ่วงลาภ, วิษณุ คุ้มเชื้อ, กำธร ธีรคุปต์ และ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต.

2550. ผลของคลอรีไฟรฟอสต่อการทำลายดีเอ็นเอในเซลล์เม็ดเลือดกิ้งกูดำ

Penaeus monodon. Proceeding of the 33nd Congress on science and
technology of Thailand.

ทิพย์สุริย์ กรบุญรักษา, ชาติ เจริญไชยศรี, วิไล เจริญไชยศรี และสิรินทรเทพ เต้าประยูร. 2549 .

การวิเคราะห์อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยในประเทศไทยโดย
ประยุกต์ใช้ระบบข้อมูลสารสนเทศ. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 19(3) : 11-23

ประดิษฐา ณ ร้อยเอ็ด. 2551. การใช้วิธีโคเมทไนฟิเคชันติดตามผลกระทบของก๊าซชีวภาพและน้ำชะมูล
ฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิมลรัตน์ พุทธิมิลินประทีป. 2544 . อิทธิพลของฤดูกาลต่อองค์ประกอบและอัตราการแพร่กระจาย
ของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มนธิรา ศรีจักรโคตร. 2550 .การทดสอบไมโครนิวเคลียสและโคเมทของสารสีที่ได้จากการ
เผาเลียง รางเงิน รางทอง และรางนาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มณีรัตน์ บุษบา. 2549. การประเมินอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยจากพื้นที่กำจัดมูล
ฝอยชุมชนในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report). โครงการสำรวจและวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอย
ชุมชนของ เทศบาลทั่วประเทศ. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม

วันวิสา สูดประเสริฐ, พรรณี พักกง และ สิริกัญจน์ เนาวพันธ์. 2549 .การใช้วิธี DNA Comet
Assay สำหรับตรวจสอบเมล็ดตัวจิ๋ว ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา. Proceeding of the
32nd Congress on Science and Technology of Thailand.

วิจารณ์ อินทรกำแหง. 2543. การประเมินอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริพร ลิทธิประณีต. 2531. พันธุวิศวกรรม ปฏิบัติการเบื้องต้น. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2539. โครงการศึกษาและออกแบบรายละเอียดศูนย์กำจัดมูล
ฝอยรวมแบบครบวงจรองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(2545) . โครงการศึกษาและออกแบบรายละเอียดศูนย์กำจัดมูล
ฝอยรวมแบบครบวงจรองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

สรรสฤษฎ์ เขียวโพธิ์ภักย์. 2551. การประเมินการแพร่ระบาดของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหย
และกลิ่น จากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรัตน์ โกวานิชย์.2546. การศึกษาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากชั้นดินกลบทับมูลฝอยล
ชุมชน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักรักษาความสะอาด. 2539. การฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกสุขาภิบาล กรุงเทพมหานคร,
กระทรวงมหาดไทย. กรุงเทพฯ.

อันชรีย์ ขนนไทย. 2547. อิทธิพลของหน้าดินชั้นสุดท้ายต่อการกระจายสารอินทรีย์ระเหยจากพื้นที่
กำจัดมูลฝอยชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุชิต สวัสดิ์ 2547. การลดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยโดยใช้
หน้าดินที่มีการปลูกพืช.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Allen,M.R.,A.Braitwaite and C.C.Hills 1997.Trace organic compounds in landfill gas at
Seven U.K. Waste disposal site. **Environ. Sci. Tech.** 31: 1054-1061.

Andelman JB. **Human exposures to volatile halogenated organic chemicals in indoor and
outdoor air.** Environ Health Perspect 62:313-318, 1985

Austin CC, Wang D. **Characterization of volatile organic compounds in smoke at municipal
structural fires.** Ecobichon DJ, Dussault G.J Toxicol Environ Health 2001 July
20;63(6):437-58

Boeckx, P. and O.V. Cleemput. 1996. Methane oxidation in a neutral landfill cover soil: Influence
of moisture content, temperature, and nitrogen turnover. **J. Environ. Qual.** 25: 178-183.

Bogner, J.,K. Spokas, M. Niemann and J. Baker. 1997. **Emissions of non-methane organic
compounds at Illinois (USA) Landfill Site: Preliminary Field Measurement.**
Proceedings of sixth international landfill symposium. Sardinia 97. Cagliari, Italy.

- Bogner, J.E. 1992. Anaerobic buries of refuse in landfills: increased atomospheric Methane and implications of increased carbon storage. **Ecological Bulletin** 42: 98-108.
- Bogner, J.E. and P.Scott. 1995. Landfill Methane Emission: Guidance for Field Measurement, pp. 119-126. *In* Proc. 18th Annual Landfill Gas Symposium, Solid Waste Association of North America, New Orleans.
- Bogner, J.E., E. Matthews, A. Katzenstein, D. Blake and M. Carolan. 2000. **Greenhouse gases emissions from landfill: What we know and what we don't know.** ISWA World Congress. Paris, France.
- Borjesson, G. and B.H. Svensson. 1997. Seasonal and diurnal methane emissions from a landfill and their regulation by methane oxidation. **Waste Management & Research** 15 : 33-54.
- Buivid, M.G., D.L. Wise, M.J. Blanchet et al. 1981. Fuel gas enhancement by Controlled landfill of municipal solid waste. **Resources and Conservation** 6:3-20
- 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: 126-143
- Cockerham, L.G. , Shane, B.S. **Basic environmental toxicology**, CRC Press Inc., USA. 1994.
- Cooney, C.L. and D.L. Wise. 1975. Thermophilic anaerobic digestion of solid waste for fuel gas production. **Biotechnol. Bioeng.** 17: 1119-1135
- Coutant, R.W., R.G. Lewis and J.D. Mulik. 1986. Modification and evaluation of a thermally desorable passive sampler for volatile organic compounds in air. **Analytical Chemistry.** 58: 445-448.

- Eklund, B., E.P. Anderson, B.L. Walker and D.B. Burrows. 1998. Characterization of landfill gas comparison at the fresh kills municipal solid waste landfill. **Environ. Sci. Tech.** 32: 2233-2237.
- Emon Associates. 1980. Methane generation and recovery from landfills. **Ann.Arbor Science.** Michigan, United states of America. 139 p.
- Flower, F.B.,E.F. Gilman and L.A. Leone. 1981. Landfill gas, What it does to trees and how its injurious effects may be prevented. **Journal of arboriculture** 7(2) : 43-52.
- Gendebien, A. 1992. Potential landfill gas damages to vegetation. **Landfill gas. Environment to Energy** 1:35-46
- Gichner, T. and Z. Muhlfeldove. 2002. Induce DNA damage measured by the comet assay in 10 weed species. **Biologia Plantarum** 45(4) : 509-516
- Gichner, T. 2003. Comet assay in higher plants. In: J. Maluszynska, M. Plewa, editors. **Bioassays in plant cells for improvement of ecosystem and human health.** Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Slaskiego : 123-132
- Gichner, T., Z. Patkova, J. Szakova and K. Demnerrova. 2006 . Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metal. **Ecotoxicology and Environmental Safety.**
- Hettiaratchi, J.P.A. and C. Hansen. 1996. **Evaluation of a closed flux chamber method to measure landfill gas.** Calgary, Cannada.

Jones, H.A., and Nedwell, D.B. 1993. Methane emission and methane oxidation in landfill cover soil. **FEMS Microbiology Ecology**. 102: 185-195

Kim, K.H. and M-Y Kim. 2002. The distributions of BTEX compounds in the ambient atmosphere of the Nan-Ji-Do abandoned landfill site in Seoul. **Atmospheric Environment**. 36: 2433-2446.

Kjeldsen, P. and E.V. Fischer. 1995. Landfill gas migration-field investigations at Skellingsted landfill, Denmark. **Waste Management & Research** 13: 467-484.

Klink, R.E. and R.K.Ham. 1982. Effects of moisture movement on methane production in solid waste landfill samples, p. 129 Cited by T.H. Christensen, P. Kjeldsen and R.Stegmann. Elsevier. **Applied Science Press**. London and New York. 224 p.

Krost, K.J., E.D. Pellizzari, S.G. Walburn and S.A. Hubbard 1982. Collection and analysis of hazardous organic emissions. **Analytical Chemistry**. 54: 810-817.

Lagerkvist, A. 1995. The landfill gas activity of IEA bioenergy agreement. **Biomass and Bioenergy** 9: 399-413

Leckie, J.O., J.G. Pacey and C. Halvadakis. 1979. Landfill management with moisture control. **Journal of Environmental Engineering Division, ASCE**. 105: 337-355.

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. **J. Environ. Qual.** 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.

- McCarthy, P.J., S.F. Sweetman, P.G. Mckelvy. 1997. Evaluation of manual and image analysis quantification of DNA damage in the alkaline comet assay. **Mutagenesis**. 12(4): 209-214
- McCarthy, P.L. 1964 Anaerobic waste treatment fundamentals-part one. Chemistry and microbiology. **Public Works** 95: 107-112.
- Merz, R.C. and R. Stone. 1964. Gas production in a sanitary landfill. **Public Works** 95(2): 84.
- Moffat, A.J and T.J. Houston. 1991. Tree establishment and growth at pitsea landfill site, Essex, U.K. **Waste Management and Research** 9: 35-46
- Mosher, B.W., P.C. Czepiel, J. Shorter., E. Allwine., R.C. Harriss. C. Kolb. And B. Lamb 1996. Mitigation of methane emissions at landfill sites in New England, USA. **Energy Convers. Mgmt** 37. Nos 6-8 : 1093-1098.
- Mosher, B.W., P.C. Czepiel, R. Harriss, J.H. ShorterKolb, C.E. Mcmanus and B.K. Lamb, 1999. Methane emissions at nine landfill sites in the Northeastern United States. **Environ. Sci. Tech.** 33(12) : 2088-2094.
- NIOSH. 1996. **Manual of Analytical Method**. Washington D.C., US. Government Printing office. U.S.A.
- Ostling, O.; and K.J. Johanson. 1984. Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 123: 291-298.
- Palumbo, D. 1995. **Temporal landfill gas production**. Master thesis. University of Central Florida, Orlando, Florida, U.S.A.

Palananthakumar, B. 1999. **Modeling of methane generation, Oxidation and emission in landfills**. AIT Master Thesis, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand.

Pareek,

Rafson, H.J. 1998. **Odor and VOC Control Handbook**. McGraw-Hill. NY, USA.

Reinhart, D.R. 1996. Full-Scale experiences with leachate recirculating landfills: case Studies. **Waste Management & Research** 14: 347-365.

Rettenber, G. and R. Stemann. 1993. **Landfill gas component**. Landfill of waste : biogas citeds T.H. Christentensen, R.Cossu and R. Stagmann. 1995. academic Press. P 50-55.

Singh, N.P., M.T. McCoy, R.R. Tice, E.L. Schneider. 1988. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage individual cells. **Exp. Cell Res.** 175: 184-191.

Speit, G., S. Haupter and A. Hartmann 1998. Evaluation of the genotoxic properties of paraquat in v79nChainese hamster cell. **Mutat. Res.** 412: 187-193

Sriussadaporn, C., K Yamamoto., K. Fukushi and D. Simazaki 2003. Comparison of DNA damage detected by plant comet assay in roadside and non-roadside environment. **Mutation research** 514: 13-44.

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. Intergrated solid waste management , **Engineering principal and management issue**. McGraw Hill, Inc., New York. 87p.

Tebbett, I. 1992. **Gas chromatography in forensic science**. Ellis Horwood Limited. Chichester, West Sussex, England.

- Troost, J.R. 1997. **Method and apparatus for analyzing gases containing volatile organic compounds by use of Tetraglyme**. Plant number: 5650560
- Tosh, J.E.; J.E. Smith and I.A. Watson-Craik. 1994. Landfill site restoration : the inimical
challengers of ethylene and methane. **Environmental Pollution**. 335 –340.
- US.EPA. 1987. **Hazardous waste treatment, storage, and disposal facilities air emission models draft document**. QAQPS/RTP.
- Walker, B.L., D.R. Reinhart and D.C. Cooper. 1992. Flux chamber design and operation for
measurement of municipal solid waste landfill gas emission rates. **Journal of Air Waste
Management Association**. 42(8): 1067-1070.
- Ward, R.S., G.M. Williams and C.C. Hills. 1996. Changes in major and trace components of
landfill gas during subsurface migration. **Waste Management & Research** 14: 243-261.
- Whalen, S.C., W.S. Reeburgh and K.A. Sandbeck. 1990. Rapid methane oxidation in a landfill
cover soil. **App. Environ. Microb.** 56: 3405-3411.
- Wolverton, B.C. 1996. **Eco-friendly houseplants : 50 indoor plants that purify the air**.
Weidenfeld and Nicolson, Ltd London.
- Wong, M.H. and C. Yu. 1989. Monitoring of gin drinker Bay landfill, Hongkong: II gas content,
soil properties, and vegetation performance on the side slope. **Environmental
Management** 13: 753-762
- Yuen, S.T.S., J.R. Styles and T.A. McMahon. 1994. Process-Based landfills achieved by leachate
recirculation – a critical review and summary. **Centre for Environmental Applied
Hydrology Report**. University of Melbourne, November 1994.

Zou, S.C., C.Y. LeeChan, K.F. Ho, X.M. Wang, L.Y. Chan and Z.X. Zhang. 2003.

Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, South China. **Chemosphere**. 51: 1015-1022.







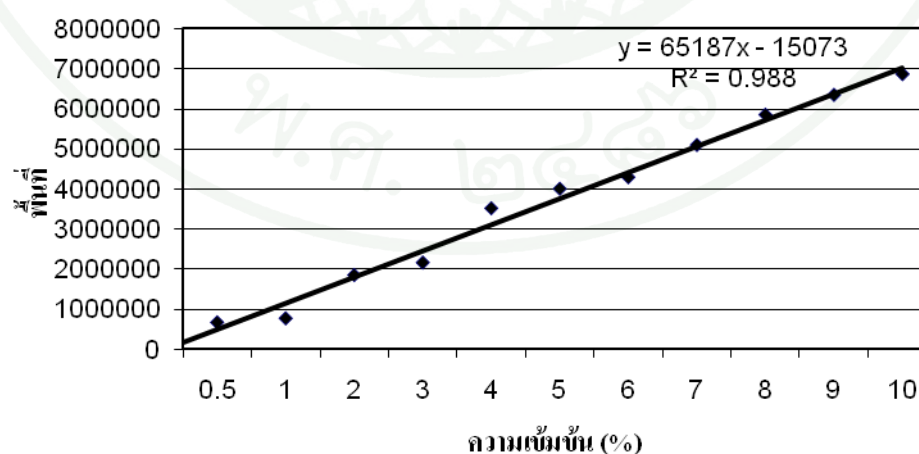
ภาคผนวก ก

ข้อมูลก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์ระเหย

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเครื่อง GC 14B

Composition(%)	RT	AR
0.05	0.636	75081.6
0.125	0.632	153089.2
0.25	0.632	248690.6
0.5	0.631	673380.6
1	0.626	774795.2
2	0.637	1851500
3	0.634	2161759.3
4	0.636	3512795.4
5	0.633	3997091.3
6	0.648	4283427.7
7	0.659	5086750.5
8	0.666	5840637.2
9	0.666	6333493.6
10	0.666	6850056.9

กราฟมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานมีเทน

ตารางผนวกที่ ก2 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 1
วันที่ 19 กันยายน 2551

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	30	2.215012	1.211178
	10	31	2.50369	1.235911
	20	32	3.07142	1.27107
	30	34	2.858617	1.258823
	40	35	3.770776	1.267392
	50	36	3.445569	1.247403
	60	36	3.754189	1.242724
10.00-12.00	0	35	1.747381	1.237096
	10	39.5	1.993023	1.454318
	20	41	4.949544	1.591355
	30	42	4.705786	1.933882
	40	43	5.678892	1.84684
	50	44	5.631547	1.985165
	60	44.5	5.657483	1.919736
13.00-15.00	0	41	1.744001	1.195653
	10	43	4.077401	1.601048
	20	44.5	5.280441	1.604031
	30	46	6.185259	1.884915
	40	46.5	7.321298	2.378694
	50	47	7.817106	2.256318
	60	48	8.505667	2.102464

ตารางผนวกที่ ก3 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 2
วันที่ 4 ตุลาคม 2551

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	33	4.566218	0.998297
	10	34	5.122833	1.10462
	20	36.5	6.669143	1.130241
	30	37	7.240045	1.201585
	40	40	7.379005	1.360423
	50	41	7.197639	1.32663
	60	42.5	5.468036	1.296463
10.00-12.00	0	39.5	2.951781	1.041087
	10	41	4.799525	1.22111
	20	43	5.621291	1.348214
	30	43.5	6.228678	1.601982
	40	44.5	7.123308	1.531687
	50	45	6.71319	1.56146
	60	46	6.618349	1.498281
13.00-15.00	0	41	2.777371	1.018619
	10	43	3.905094	1.268908
	20	44	4.311321	1.405296
	30	45.5	4.126307	1.058325
	40	47	4.348875	1.308907
	50	47.5	4.545229	1.349867
	60	49	5.03119	1.702453

ตารางผนวกที่ ก4 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 3
วันที่ 3 พฤศจิกายน 2551

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	27	0.579531	0.987535
	10	29	0.523707	1.138002
	20	41	0.540112	1.119286
	30	33	1.114706	1.107889
	40	35	1.298491	0.954866
	50	37	1.145387	1.115298
	60	37	0.840557	1.229571
10.00-12.00	0	38	2.803322	1.039487
	10	39	2.927399	1.210492
	20	39.5	3.45228	1.351135
	30	40	3.03894	1.654779
	40	41	3.125816	1.521401
	50	41	3.699508	1.557894
	60	43	3.400943	1.512142
13.00-15.00	0	36	5.405067	1.10029
	10	37	6.029412	1.311826
	20	38	5.762602	1.54134
	30	37	6.679577	1.59081
	40	36	6.78755	1.29485
	50	36	7.549535	1.387884
	60	35.5	7.139796	1.737422

ตารางผนวกที่ ก5 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 1
วันที่ 23 กันยายน 2551

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	26	0.542711	0.452206
	10	28	0.555176	0.524218
	20	31	0.635641	0.660599
	30	33	0.663185	0.777556
	40	35	0.70177	0.754103
	50	38	0.695102	0.675322
	60	38.5	0.7353	0.821898
10.00-12.00	0	38	0.811185	0.530105
	10	39.5	0.932392	0.665975
	20	41	1.075714	0.686479
	30	41.5	1.038817	0.863198
	40	42	1.060084	0.953794
	50	43	0.998138	0.900941
	60	45	0.933725	0.806083
13.00-15.00	0	45	0.555594	0.370771
	10	45	0.845	0.50212
	20	46	1.005038	0.494823
	30	46.5	1.175435	0.593557
	40	47	1.196159	0.713673
	50	48	1.151089	0.700898
	60	48	1.170885	0.643665

ตารางผนวกที่ ก6 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 2
วันที่ 17 ตุลาคม 2551

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH_4	CO_2
7.00-9.00	0	30	0.417394	0.418166
	10	30.5	0.420442	0.454993
	20	31	0.418216	0.451858
	30	32	0.465417	0.560242
	40	33	0.468745	0.493299
	50	34	0.388823	0.616116
	60	34.5	0.423204	0.704639
10.00-12.00	0	40	0.342945	0.4545
	10	41.5	0.349131	0.519144
	20	42	0.361428	0.564625
	30	42.5	0.364805	0.603762
	40	43	0.366396	0.679727
	50	44	0.363958	0.697395
	60	44	0.35116	0.708274
13.00-15.00	0	45	0.308921	0.324302
	10	46	0.317689	0.572682
	20	46.5	0.319487	0.512748
	30	47	0.321254	0.613236
	40	47	0.321941	0.691337
	50	47.5	0.319327	0.709836
	60	47.5	0.308927	0.692107

ตารางผนวกที่ ก7 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูฝน ครั้งที่ 3
วันที่ 14 พฤศจิกายน 2551

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH_4	CO_2
7.00-9.00	0	28	0.359401	0.499539
	10	28	0.367286	0.542473
	20	29	0.375928	0.523483
	30	29.5	0.410225	0.592229
	40	30	0.457951	0.608328
	50	30	0.352449	0.585794
	60	31	0.358251	0.697562
10.00-12.00	0	35	0.311732	0.54937
	10	35	0.320504	0.600285
	20	38	0.324243	0.716024
	30	40	0.322811	0.625942
	40	40	0.324105	0.807756
	50	41	0.3222	0.781483
	60	43	0.311807	0.846458
13.00-15.00	0	40	0.317013	0.452488
	10	40.5	0.313742	0.586967
	20	41	0.333261	0.597726
	30	41.5	0.329964	0.664545
	40	42	0.328503	0.736554
	50	43	0.312565	0.665753
	60	43.5	0.322933	0.677682

ตารางผนวกที่ ๘ ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1
วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2552

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	36	2.83525	1.187237
	10	37	3.430901	1.430068
	20	38.5	3.816599	1.5215
	30	39	4.106385	1.563582
	40	41	5.247333	1.568361
	50	44	5.697991	1.379269
	60	45.5	6.016603	1.379269
10.00-12.00	0	45	2.456766	1.39956
	10	46	4.107239	1.473113
	20	46.5	5.68607	1.605562
	30	46.5	7.002005	1.899035
	40	48	8.541091	2.008082
	50	50	9.226683	2.17744
	60	54	9.416623	2.044134
13.00-15.00	0	46.5	2.154354	1.217128
	10	47	4.119472	1.395066
	20	47.5	7.719422	1.615244
	30	49	8.688435	2.075339
	40	51	9.097116	2.306518
	50	52	11.49495	2.471949
	60	53	12.86147	2.50424

ตารางผนวกที่ ก9 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 2
วันที่ 1 มีนาคม 2552

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	37	2.468796	1.055699
	10	39.5	3.295004	1.146034
	20	42	3.683942	1.251774
	30	43	3.967683	1.201585
	40	44	4.103943	1.506452
	50	46	4.322176	1.436106
	60	48	4.735672	1.51879
10.00-12.00	0	49	3.245675	1.114692
	10	50	3.656273	1.18397
	20	52	4.198322	1.311143
	30	53	4.732432	1.462232
	40	54	5.626537	1.677645
	50	55	6.325213	1.596177
	60	56	7.013363	1.708722
13.00-15.00	0	44	4.122234	0.98056
	10	47	4.619878	1.193744
	20	49	5.283442	1.405296
	30	50	6.002352	1.439012
	40	51	7.045635	1.572554
	50	52	7.523991	1.650825
	60	53	7.945623	1.665252

ตารางผนวกที่ ก10 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 3
วันที่ 30 มีนาคม 2552

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	30	2.524211	1.026286
	10	31	3.723332	1.099621
	20	33	4.023344	1.194934
	30	35.5	4.67309	1.292611
	40	37.5	4.673221	1.274668
	50	39	5.120092	1.188547
	60	42	5.354545	1.377724
10.00-12.00	0	40	3.954327	1.076378
	10	41	4.357872	1.285179
	20	41.5	5.012344	1.388007
	30	41.5	5.656633	1.513626
	40	43	6.044563	1.557941
	50	45	7.354489	1.662495
	60	48	8.396531	1.547255
13.00-15.00	0	48	3.214689	1.062612
	10	50	4.622457	1.200626
	20	55	5.532369	1.503075
	30	55	6.954356	1.628352
	40	56	7.456709	1.48446
	50	56	7.744591	1.53872
	60	56.5	9.12357	1.811473

ตารางผนวกที่ ก11 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปัด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 1
วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2552

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	38	0.308286	0.839225
	10	39.5	0.31825	0.915779
	20	41	0.345955	0.96174
	30	43	0.335793	1.209512
	40	44	0.290096	1.16417
	50	45	0.375467	1.24919
	60	46	0.302638	1.317534
10.00-12.00	0	48	0.390052	0.97735
	10	50	0.408648	1.13271
	20	52	0.630465	1.039475
	30	52.5	0.71391	1.291065
	40	53	0.821645	1.277994
	50	54	1.006126	1.423938
	60	54	0.988032	1.549577
13.00-15.00	0	45	0.37733	0.804805
	10	47	0.397695	0.951068
	20	47	0.503961	1.130268
	30	48	0.360472	1.371016
	40	49	0.469599	1.288548
	50	50	0.520133	1.433884
	60	50.5	0.502922	1.541841

ตารางผนวกที่ ก12 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 2
วันที่ 20 มีนาคม 2552

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH ₄	CO ₂
7.00-9.00	0	34	0.361975	0.428023
	10	35	0.370107	0.814795
	20	38	0.385599	0.828323
	30	39	0.414747	0.951828
	40	42	0.431062	0.868011
	50	43	0.430283	0.764305
	60	43.5	0.427806	0.695633
10.00-12.00	0	44	0.393277	0.412981
	10	45	0.414363	0.55867
	20	46	0.588422	0.511664
	30	46.5	0.618339	0.476174
	40	48	0.640539	0.654303
	50	49	0.564189	0.672448
	60	50.5	0.642746	0.789296
13.00-15.00	0	44	0.389936	0.332049
	10	46	0.412023	0.585954
	20	47	0.524812	0.508047
	30	49	0.569201	0.694426
	40	51	0.559558	0.688214
	50	52	0.584723	0.750362
	60	54	0.594259	0.788503

ตารางผนวกที่ ก13 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในกองเปิด ในฤดูแล้ง ครั้งที่ 3
วันที่ 4 เมษายน 2552

Point Time	Time	Temp. (°C)	Composition(%)	
			CH_4	CO_2
7.00-9.00	0	27.5	0.445295	0.460523
	10	30	0.453826	0.51415
	20	32	0.59594	0.523483
	30	34.5	0.599819	0.551846
	40	36	0.596508	0.622244
	50	37	0.686175	0.58064
	60	38	0.786648	0.657894
10.00-12.00	0	49	0.537027	0.509717
	10	50	0.565648	0.520738
	20	52	0.684814	0.551279
	30	52.5	0.763541	0.505726
	40	53	0.879594	0.566709
	50	54	0.972946	0.580784
	60	54.5	0.925009	0.60874
13.00-15.00	0	38	0.513847	0.492829
	10	39	0.527287	0.547625
	20	41.5	0.661909	0.471646
	30	41.5	0.745236	0.586376
	40	42	0.797205	0.617012
	50	43	0.81967	0.627137
	60	45	0.855537	0.716494

ตารางผนวกที่ ก14 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณกองเปิดฤดูฝน วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.311944	0.287442	0.301378	0.414438	0.776952	0.339795	0.482453	0.3346	0.35209
day 2	0.475917	0.466242	0.282396	0.446101	0.308195	0.477577	0.643413	0.332787	0.364503
day 3	0.301317	0.349871	0.324954	0.323984	0.30824	0.361453	0.331464	0.422775	0.320725
day 4	0.34092	0.307874	0.30419	0.354072	0.327116	0.461664	0.431647	0.333882	0.322123
day 5	0.323326	0.340306	0.398927	0.297724	0.340559	0.296725	0.311546	0.41623	0.33692
day 6	0.343909	0.329918	0.362299	0.404187	0.484254	0.359389	0.344011	0.442294	0.361104
day 7	0.346942	0.360445	0.313193	0.428569	0.498214	0.375459	0.51446	0.344042	0.374754
day 8	0.307433	0.360626	0.379079	0.334543	0.312425	0.422319	0.345614	0.379327	0.380864
day 9	0.32862	0.379709	0.491291	0.376456	0.497422	0.359358	0.399273	0.360614	0.343911
day 10	0.313956	0.306071	0.315475	0.481911	0.374869	0.390263	0.498695	0.32223	0.34391

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก15 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบอุตสาหกรรม วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.292946	0.313619	0.281258	0.322222	0.331301	0.331224	0.299539	0.305103	0.29688
day 2	0.289777	0.302389	0.307988	0.301867	0.344106	0.312803	0.302996	0.31815	0.307193
day 3	0.318198	0.300877	0.290031	0.29614	0.295809	0.301809	0.258419	0.310086	0.302306
day 4	0.278467	0.322223	0.292467	0.31119	0.301162	0.287939	0.308534	0.309392	0.311725
day 5	0.284235	0.298795	0.297096	0.321993	0.302622	0.301791	0.330119	0.333699	0.337016
day 6	0.268428	0.279882	0.28411	0.303663	0.313001	0.303034	0.30108	0.313178	0.291923
day 7	0.298017	0.27591	0.284191	0.289312	0.295375	0.310257	0.279311	0.282516	0.314576
day 8	0.276745	0.280223	0.307059	0.30332	0.31508	0.289499	0.31322	0.298416	0.277139
day 9	0.270902	0.286657	0.293735	0.296407	0.277945	0.308159	0.289442	0.320674	0.300001
day 10	0.284402	0.294708	0.282134	0.303125	0.312366	0.314068	0.291027	0.315343	0.287839

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก16 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณกองเปิดดูแล วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.360893	0.322272	0.345543	0.360891	0.373238	0.497416	0.361087	0.543807	0.357563
day 2	0.345552	0.313755	0.383505	0.412816	0.360962	0.376397	0.361116	0.483411	0.361133
day 3	0.358319	0.408672	0.360548	0.26248	0.351638	0.374895	0.441196	0.358634	0.376427
day 4	0.329717	0.344075	0.388747	0.54521	0.329946	0.484146	0.390388	0.425662	0.331908
day 5	0.4602	0.330913	0.335418	0.376558	0.366895	0.714138	0.506331	0.376619	0.358628
day 6	0.345608	0.361054	0.376534	0.345552	0.450192	0.344666	0.361293	0.375031	0.396669
day 7	0.328735	0.343904	0.328241	0.649225	0.412706	0.328703	0.405934	0.445634	0.346941
day 8	0.313801	0.350015	0.376458	0.70959	0.361045	0.359692	0.357841	0.467056	0.344049
day 9	0.38965	0.482106	0.347096	0.557739	0.344625	0.374893	0.375039	0.36529	0.62221
day 10	0.330359	0.319661	0.344044	0.611818	0.359361	0.46744	0.375039	0.332225	0.540316

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก17 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบ วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.298299	0.281015	0.295424	0.31322	0.287614	0.298389	0.330207	0.32407	0.331543
day 2	0.290357	0.313901	0.279528	0.330621	0.321632	0.303079	0.347143	0.298408	0.311813
day 3	0.275043	0.301473	0.273345	0.345568	0.330836	0.290969	0.313395	0.330221	0.298196
day 4	0.280863	0.283896	0.296251	0.299741	0.328719	0.289562	0.306293	0.305478	0.322323
day 5	0.285803	0.304701	0.29964	0.33159	0.330514	0.315419	0.299725	0.298614	0.306707
day 6	0.298559	0.281837	0.263375	0.320957	0.328672	0.307414	0.298298	0.312889	0.295982
day 7	0.313942	0.29794	0.280266	0.342223	0.311848	0.311684	0.328522	0.330099	0.29206
day 8	0.285659	0.310674	0.293595	0.35925	0.311525	0.343562	0.314757	0.328517	0.333337
day 9	0.29849	0.289456	0.27643	0.297546	0.330109	0.311692	0.296017	0.301464	0.328229
day 10	0.308287	0.29349	0.291939	0.313493	0.29787	0.32332	0.294494	0.309137	0.297754

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก18 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณกองเปิดฤดูฝน วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.5029	0.6011	0.5194	0.4222	0.6084	0.5992	0.6329	0.6034	0.5374
day 2	0.5245	0.547	0.6332	0.6066	0.6104	0.5451	0.6182	0.5688	0.6968
day 3	0.6417	0.602	0.5908	0.6296	0.5157	0.5975	0.567	0.529	0.5424
day 4	0.5839	0.6078	0.5853	0.6096	0.6622	0.5462	0.5494	0.6565	0.5609
day 5	0.5505	0.5929	0.4816	0.5929	0.6174	0.5272	0.579	0.5297	0.6388
day 6	0.5259	0.5126	0.5898	0.4036	0.6473	0.6152	0.5588	0.5043	0.6298
day 7	0.6323	0.5443	0.6691	0.5199	0.5904	0.5345	0.5922	0.6746	0.7
day 8	0.6426	0.5759	0.6315	0.518	0.576	0.5464	0.565	0.4825	0.6645
day 9	0.6157	0.6542	0.6084	0.5741	0.6517	0.572	0.6002	0.6259	0.5635
day 10	0.6284	0.6523	0.5777	0.5508	0.5859	0.5943	0.6208	0.6114	0.6263

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก19 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบฤดูฝน วันที่ 26-30/09/51 และ 20-24/10/51

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.1913	0.1566	0.2316	0.2079	0.2911	0.2925	0.267	0.2585	0.3073
day 2	0.229	0.2463	0.1779	0.2704	0.2786	0.2443	0.2446	0.2683	0.2312
day 3	0.205	0.2399	0.2093	0.2738	0.2319	0.2619	0.2908	0.2264	0.2178
day 4	0.2893	0.2811	0.2005	0.2743	0.3211	0.2961	0.3022	0.3389	0.2853
day 5	0.3209	0.219	0.3042	0.3395	0.3019	0.2456	0.3478	0.2222	0.2808
day 6	0.1536	0.2232	0.2797	0.2299	0.3231	0.2678	0.2959	0.2671	0.2531
day 7	0.2136	0.179	0.1192	0.2507	0.3257	0.2525	0.2186	0.2436	0.2559
day 8	0.1893	0.2198	0.1869	0.2933	0.2262	0.2363	0.2731	0.2869	0.2488
day 9	0.2191	0.2488	0.2346	0.2665	0.2999	0.3206	0.2647	0.3588	0.2757
day 10	0.3145	0.2424	0.2523	0.3534	0.3313	0.2689	0.2874	0.2553	0.3442

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก20 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณกองเปิดดูแล วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.5569	0.5734	0.6037	0.5211	0.6946	0.5714	0.612	0.5461	0.5948
day 2	0.6075	0.6025	0.7188	0.5787	0.5553	0.5723	0.6468	0.6505	0.7785
day 3	0.6123	0.6905	0.6202	0.5751	0.544	0.5696	0.5945	0.5838	0.6012
day 4	0.6426	0.5437	0.5605	0.5538	0.492	0.6292	0.5768	0.5989	0.5883
day 5	0.4779	0.5642	0.5111	0.5367	0.6174	0.5553	0.5694	0.5575	0.668
day 6	0.5651	0.5749	0.6067	0.5055	0.7051	0.5863	0.6295	0.5364	0.5908
day 7	0.5972	0.5973	0.7236	0.5862	0.556	0.5713	0.646	0.6422	0.779
day 8	0.6059	0.6975	0.6055	0.5642	0.5536	0.5747	0.6033	0.595	0.607
day 9	0.6181	0.6506	0.5807	0.5517	0.5795	0.5839	0.6253	0.5906	0.6306
day 10	0.6054	0.6554	0.6215	0.5773	0.633	0.5845	0.5962	0.6231	0.5677

หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

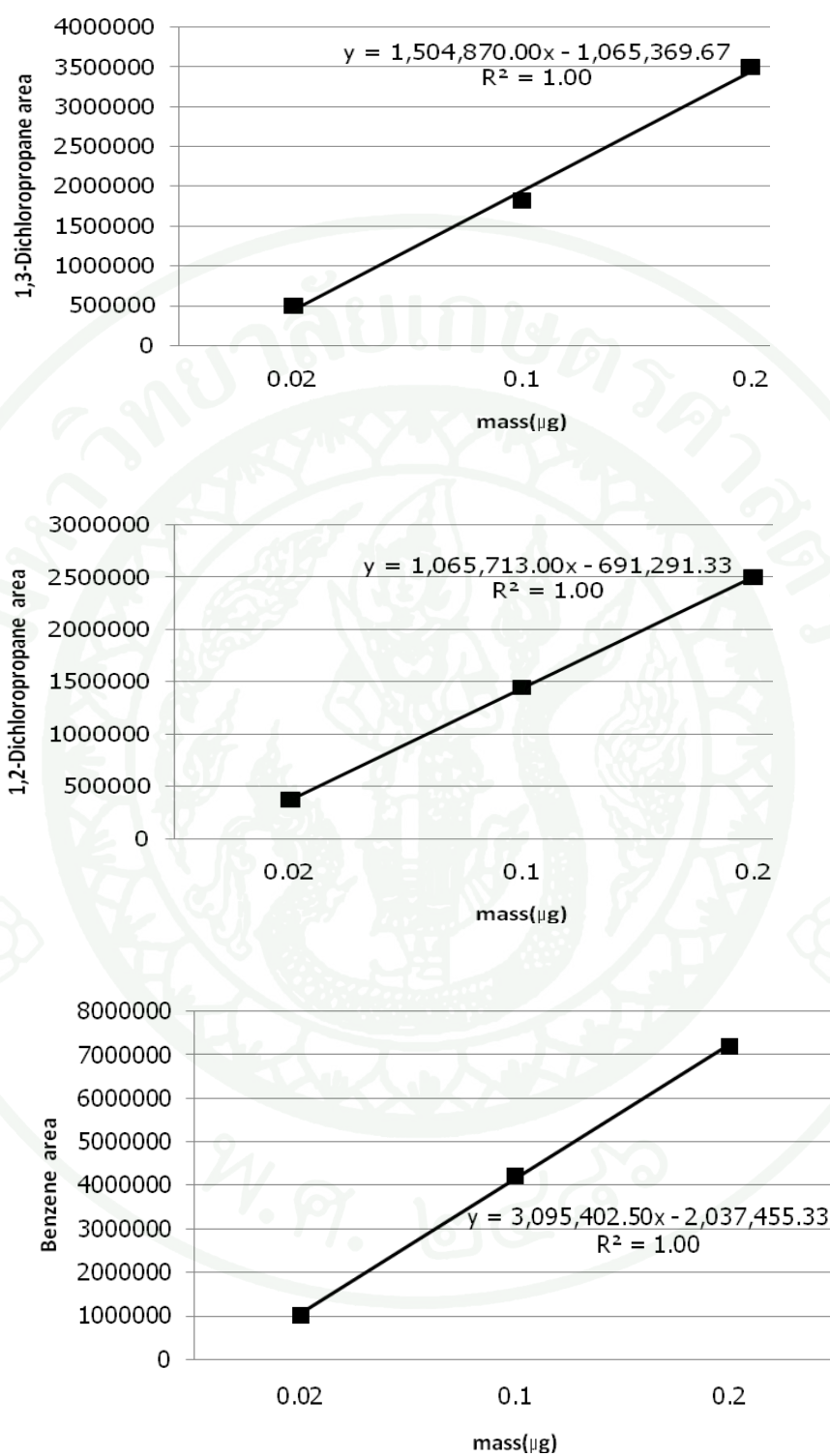
ตารางผนวกที่ ก21 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณหลุมฝังกลบฤดูแล้ง วันที่ 2-6/03/52 และ 25-29/04/52

Time	% gas								
	7.00-9.00 am.			10.00-12.00 am.			13.00-15.00 am.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
day 1	0.2593	0.2956	0.2376	0.2508	0.4356	0.3763	0.411	0.3733	0.2073
day 2	0.247	0.2126	0.3179	0.2985	0.3617	0.3539	0.4174	0.3778	0.2312
day 3	0.1993	0.2166	0.2667	0.3012	0.2604	0.2899	0.2353	0.3091	0.3065
day 4	0.3188	0.3104	0.2281	0.2743	0.3497	0.2961	0.3297	0.2519	0.2853
day 5	0.1768	0.3055	0.2745	0.3113	0.2731	0.3302	0.2922	0.3342	0.2894
day 6	0.2107	0.2348	0.2092	0.2118	0.3734	0.3195	0.3694	0.4296	0.3329
day 7	0.205	0.2456	0.2818	0.2415	0.3128	0.298	0.386	0.3415	0.258
day 8	0.1766	0.2471	0.199	0.3235	0.2419	0.2464	0.2626	0.2959	0.2515
day 9	0.2308	0.2518	0.173	0.2469	0.2927	0.3262	0.2756	0.2224	0.2564
day 10	0.1685	0.2192	0.2449	0.3109	0.2437	0.2966	0.2743	0.302	0.2192

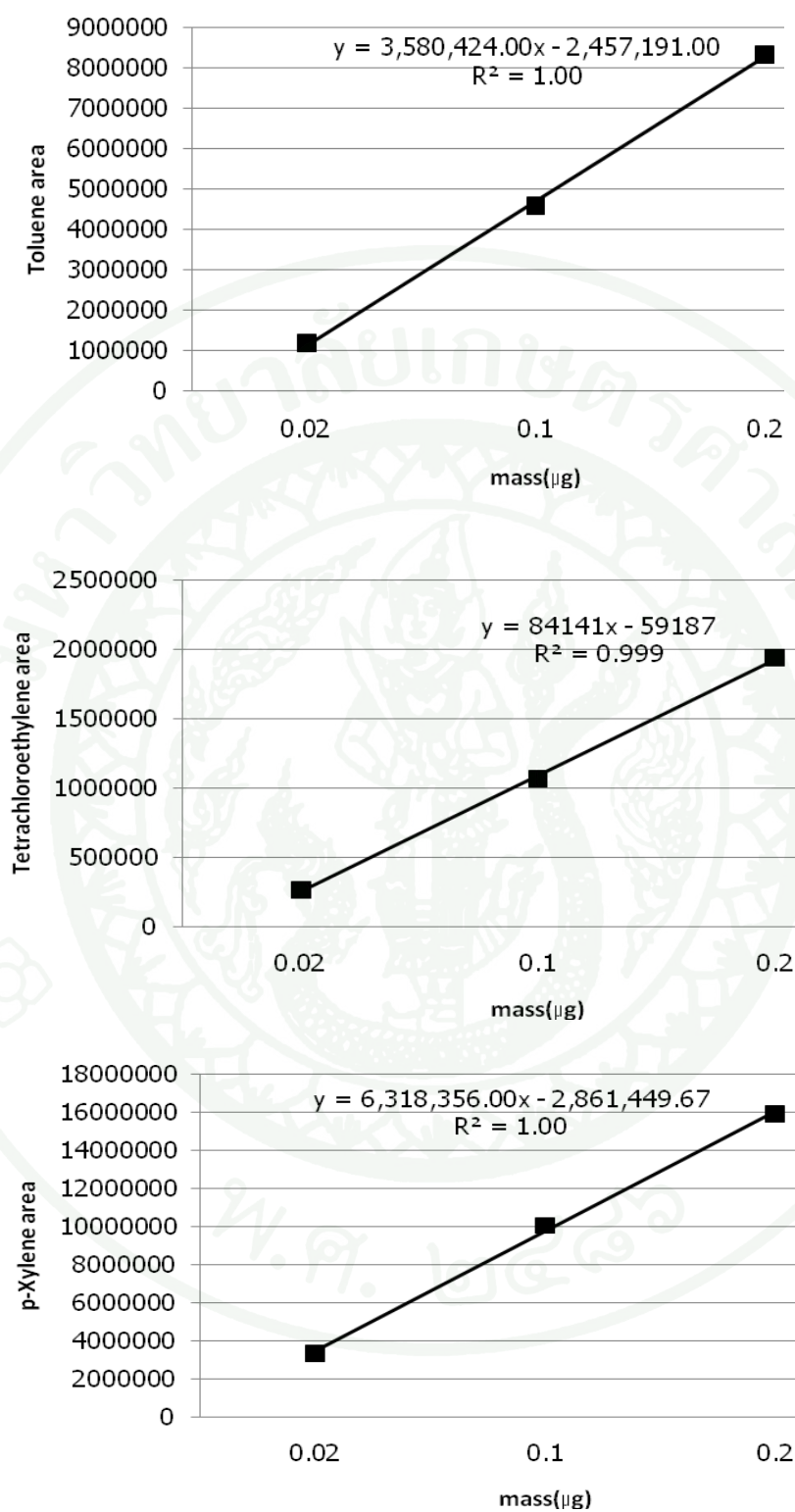
หมายเหตุ : 1 , 2 , 3 ครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก22 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเครื่อง GCMS

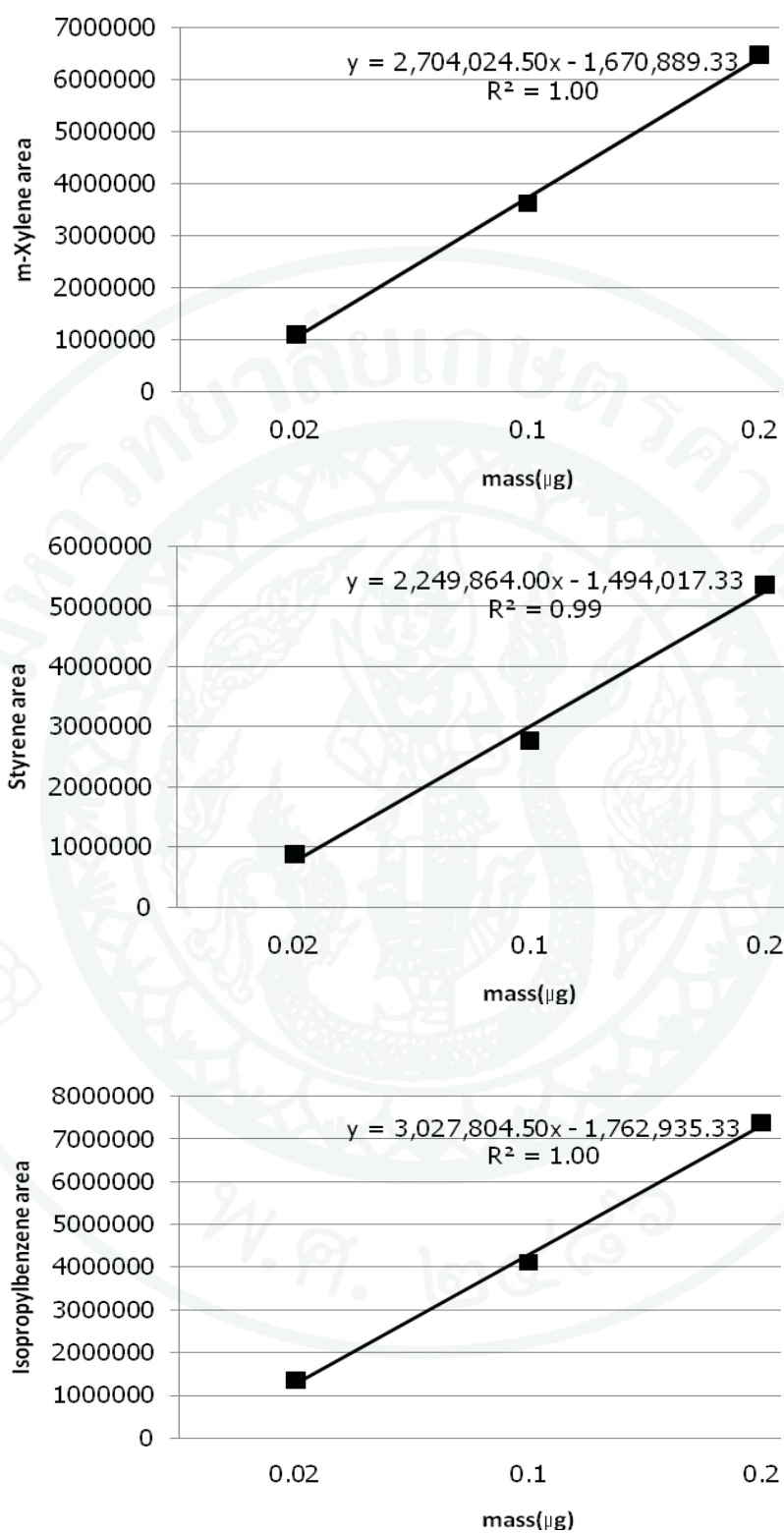
สาร	ปริมาตรฉีด(ไมโครลิตร)			ปริมาณ(ไมโครกรัม)			พื้นที่		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1,2-Dichloropropane	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	371381	1446216	2502807
Benzene (CAS) Phene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1017854	4233536	7208659
1,3-Dichloropropane	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	498853	1825665	3508593
Toluene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1179219	4591685	8340067
Tetrachloroethylene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	260740	1068538	1943563
p-Xylene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	3316267	10056541	15952979
m-Xylene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1089414	3624602	6497463
Styrene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	875305	2766794	5375033
Isopropylbenzene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1350830	4120752	7406439
m-Ethyltoluene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1136311	3080799	6048354
1,3,5-Trimethylbenzene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1173905	3210247	5890634
sec-Butylbenzene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1516175	4232234	8448026
p-Cymene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	1242165	3325917	6756296
o-Dichlorobenzene	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	659887	1763207	3738627
Ethyl phthalate	0.1	0.5	1	0.02	0.1	0.2	178071	171447	196631



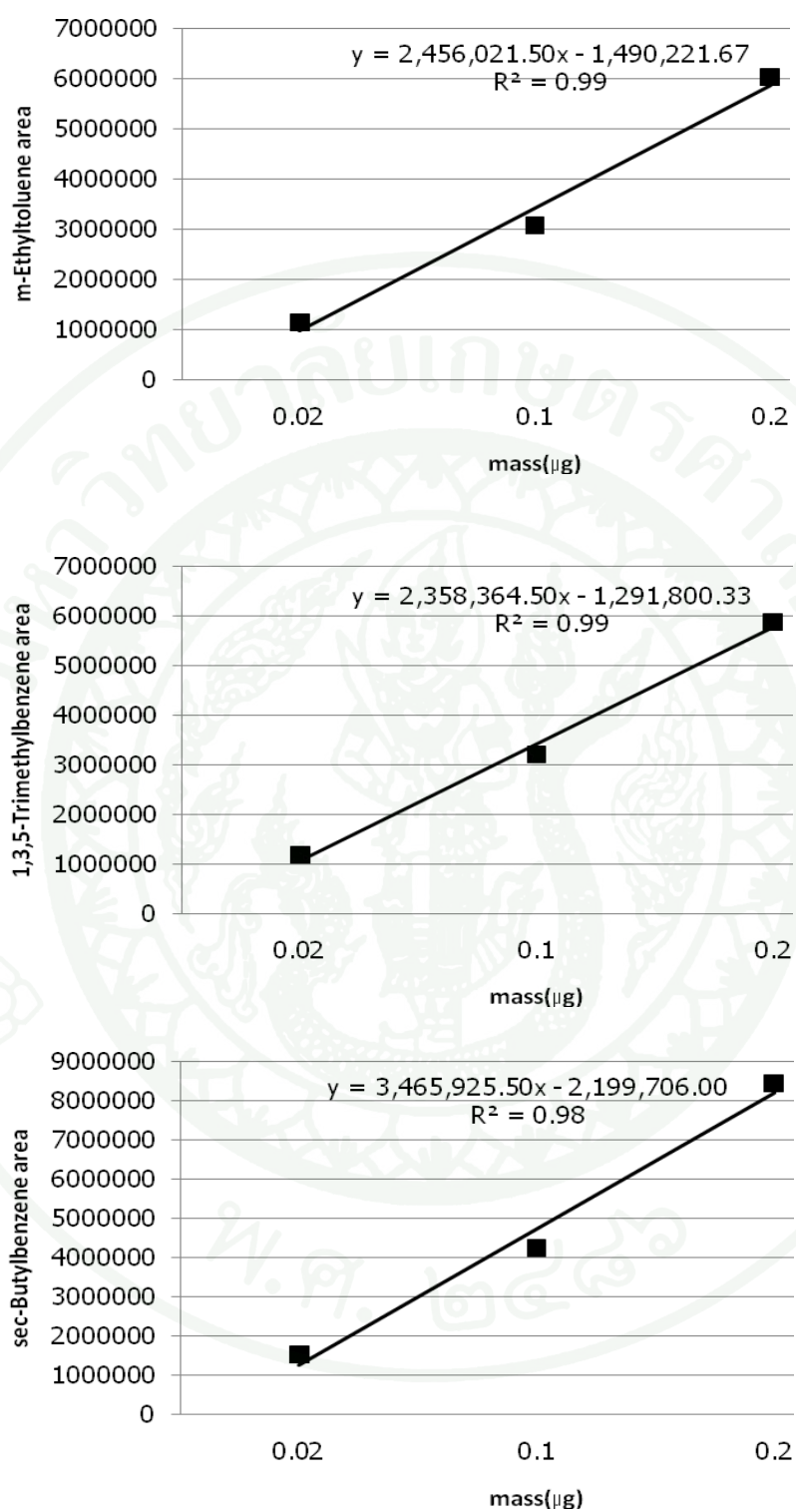
ภาพผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานปริมาณสารอินทรีย์ระเหยกับพื้นที่กราฟ



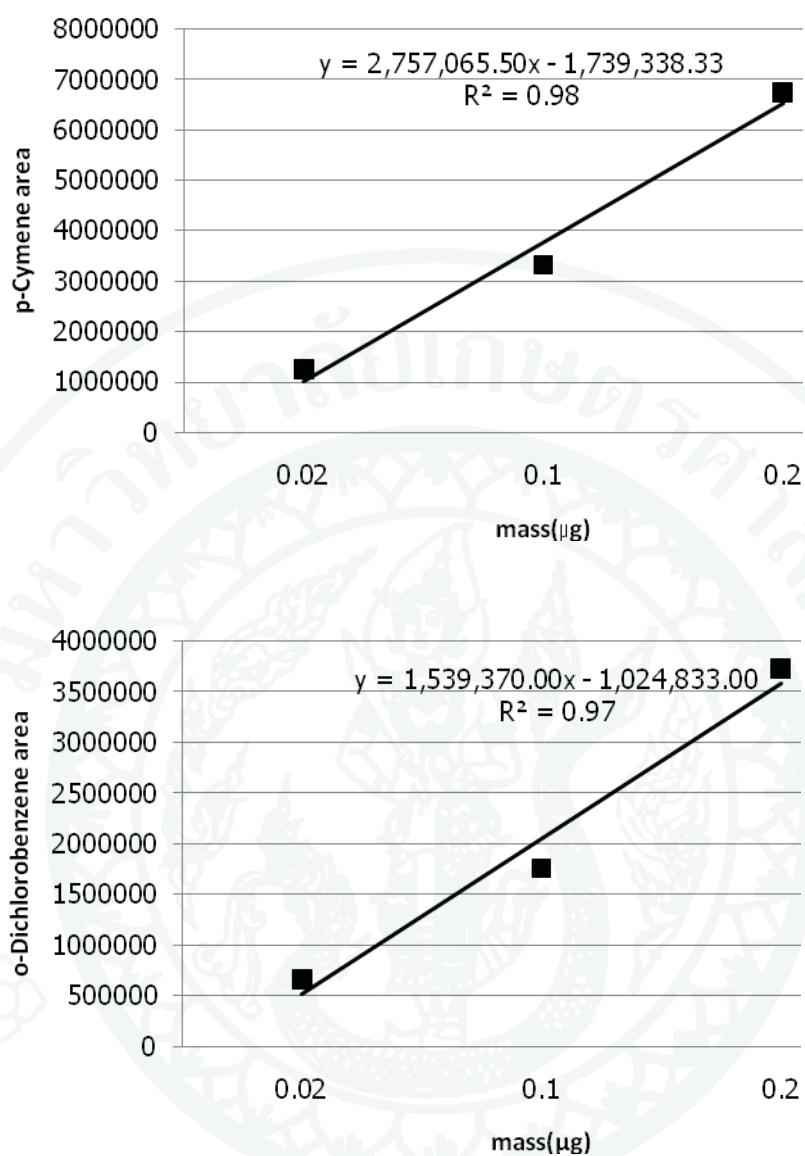
ภาพผนวกที่ ก2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ก2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ก2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ก23 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการใช้เครื่อง GCMS บริเวณกองเปิดในฤดูฝน

name	Blank			8.00-9.00			9.00-10.00			10.00-11.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	9344.667	493	15.1063	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	42027	1883	16.1158	5146240	3582957	273.4577	4888486	3977063	277.4977	5278127	4250313	297.139
1,3-Dichloropropane	0	0	0	42899	24854	16.82231	0	0	0	0	0	0
Toluene	0	0	0	643852.3	16302	34.37494	478603.7	66109	30.95445	351995.3	70765.67	27.34107
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Xylene	0	0	0	451976.7	65554.67	30.14908	203307.3	92531.67	23.58041	90222.67	45952.33	18.84963
m-Xylene	0	0	0	205712.7	60337.67	22.69779	157395	38953	20.63253	188161	66819.33	22.36979
Styrene	0	0	0	24089.33	8916.333	15.79276	59386.67	32299.33	17.53144	32182.67	11520.33	16.10972
Isopropylbenzene	0	0	0	90847.67	46210.67	18.8758	58538.33	174402.3	21.71676	92830	40942.67	18.77845
m-Ethyltoluene	0	0	0	52045.33	21346.33	16.98938	0	0	0	24641.33	25647.67	16.30486
1,3,5-Trimethylbenzene	0	0	0	119823.7	21660	19.00692	129842.3	197163	24.50386	84091	43675.33	18.60048
sec-Butylbenzene	0	0	0	5725.667	13641.33	15.38865	3624.333	18949	15.48365	22830	23130	16.17659
p-Cymene	0	0	0	183258.7	49783.33	21.71976	90769	52199.67	19.05092	283595.7	79552.67	25.57477
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก23 (ต่อ)

name	11.00-12.00			12.00-13.00			13.00-14.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L.	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	5330791	4097926	294.1842	5515699	4001920	296.8183	5578239	4135783	302.6377
1,3-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	412960.7	134732.7	31.04277	591592	37100.33	33.44274	182689.3	44309.33	21.5407
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Xylene	105182.7	55960.67	19.58943	60555.33	53646	18.19856	58713.67	61984.33	18.39105
m-Xylene	188512.3	44991.67	21.73345	213308.3	57242	22.83112	187960.3	40960.33	21.59765
Styrene	34886	14260	16.27099	42489.33	13999.67	16.48856	32162.33	28857.67	16.62281
Isopropylbenzene	108471.3	45611	19.38022	107046.7	34690.67	19.01444	98211	54225.67	19.33146
m-Ethyltoluene	211544	48491.67	22.51958	119671	72187	20.4995	199411	59031.67	22.47238
1,3,5-Trimethylbenzene	119501.7	53039	19.92713	28178.67	21789.33	16.29535	119116.7	23714	19.04684
sec-Butylbenzene	112906.3	16241	18.6414	44948.33	26180	16.92232	105492.7	19481.67	18.51776
p-Cymene	294151.7	89520.67	26.18289	263918.3	158670.3	27.33596	395330.7	147791.3	30.90732
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก24 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GCMS บริเวณกองเปิดในฤดูแล้ง

name	Blank			8.00-9.00			9.00-10.00			10.00-11.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	44099	2444	16.19387	2922957	2946451	188.7232	4120504	2751875	218.4409	4207443	2865219	224.3752
1,3-Dichloropropane	0	0	0	38149.33	14514.33	16.37522	458.3333	29146	15.69198	6063636	4458351	326.5774
Toluene	0	0	0	277545.3	63398.33	24.91685	174956.3	63413.67	21.87763	0	0	0
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419191	75846.67	29.4826
p-Xylene	0	0	0	271104.7	54546	24.46372	147214	60030.67	20.9554	0	0	0
m-Xylene	0	0	0	280896.3	58820	24.88048	221175	61467.67	23.18941	299804.3	110859.7	26.98264
Styrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107170.7	53586	19.57798
Isopropylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Ethyltoluene	0	0	0	171361.7	107853.3	23.08785	258238	59553	24.23084	0	0	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0	0	0	130799.3	39248.67	19.85327	160229.3	43756	20.85882	357441.7	47762.33	26.82086
sec-Butylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	294234	59392	25.29262
p-Cymene	0	0	0	1499968	19055.67	59.82292	1533192	68588.33	62.27497	10494.33	24549.67	15.85316
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1832996	113052.7	72.47552

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก24 (ต่อ)

name	11.00-12.00			12.00-13.00			13.00-14.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	3764080	3012671	215.6074	3859860	3418620	230.4735	4226266	3449887	242.2564
1,3-Dichloropropane	49441.67	25494.33	17.03514	26042.33	58855.33	17.3303	29479.67	15121.67	16.13634
Toluene	0	0	0	144000.7	44063.33	20.38708	298674.7	45059.33	24.99953
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	5781.333	0	14.98611
p-Xylene	255946.7	34370	23.41679	278050	47615.67	24.46417	418165	56330.67	28.87395
m-Xylene	124395.7	81146.67	20.90496	176257.3	86462	22.59909	237914.7	75650	24.10562
Styrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopropylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Ethyltoluene	60251.67	71382	18.71507	60154	48118.67	18.02289	114635	70230.33	20.29231
1,3,5-Trimethylbenzene	51811	4291	16.4771	318267	34846.33	25.27743	108064	59478	19.77902
sec-Butylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Cymene	171091	260824.3	27.61231	289959	37700	24.52323	1257383	322018.3	61.61189
o-Dichlorobenzene	31971	22916.33	16.44111	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก25 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ GCMS บริเวณหลุมฝังกลบในฤดูฝน

name	Blank			8.00-9.00			9.00-10.00			10.00-11.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area H	area T	µg/L	area H	area H	area T	area H	area T
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	36021	2598	15.95908	5304606	4495878	305.1995	5298382	4817338	314.5399	5476906	5199248	331.1453
1,3-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	0	0	0	35615.67	29140.67	16.73352	51800	25134.33	17.09435	28794.67	26306.6	16.44745
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Styrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopropylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Ethyltoluene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0	0	0	4540.667	31894.33	15.89437	0	0	0	0	0	0
sec-Butylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Cymene	0	0	0	48383.67	17320	16.76159	86544	12764	17.75727	48264.33	2063.33	16.306
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก25 (ต่อ)

name	11.00-12.00			12.00-13.00			13.00-14.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	5906395	4155572	312.9472	6006470	4408369	323.4026	6063636	4458351	326.5774
1,3-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	31624	15271.67	16.20432	24571.33	21296	16.17385	16642.67	23131.33	15.9933
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Styrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopropylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Ethyltoluene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sec-Butylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Cymene	63259	19648	17.27132	60113	26269.33	17.37429	87248.33	28645.67	18.24871
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก26 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเวลาต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ GCMS บริเวณหลุมฝังกลบในฤดูแล้ง

name	Blank			8.00-9.00			9.00-10.00			10.00-11.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	41004	2978	16.11799	2981895	3299933	200.9431	4440299	2892659	232.0876	4041288	3313015	232.7201
1,3-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Styrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopropylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Ethyltoluene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sec-Butylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Cymene	0	0	0	30225.33	21873.33	16.35848	79900.33	33284.67	18.16844	98301	25903.67	18.49495
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก26 (ต่อ)

name	11.00-12.00			12.00-13.00			13.00-14.00		
	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L	area H	area T	µg/L
1,2-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzene (CAS) Phene	4261568	3525445	245.5411	4765030	3402241	256.808	4934930	3725674	271.4253
1,3-Dichloropropane	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toluene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tetrachloroethylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Xylene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Styrene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopropylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m-Ethyltoluene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3,5-Trimethylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sec-Butylbenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Cymene	69307.67	22632	17.53895	97900	19798.33	18.30217	115008.3	23561.33	18.92058
o-Dichlorobenzene	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : 0 หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางผนวกที่ ก27 ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยที่สามารถตรวจพบโดยใช้เครื่อง GCMS

no.	name	Column	Area	%area	Hight	% Hight
1	Benzene (CAS) Phene	TIC	10532604	9.59	486479	1.81
2	Thiophene (CAS) Thiofuran	TIC	3621809	3.3	220417	0.82
3	Thiophene (CAS) Thiofuran	TIC	175656	0.16	29010	0.11
4	1-Propene, 1-chloro-, (E)- (CAS) trans-1-Chloropropene	TIC	2754	0	1758	0.01
5	1-methylthio-4-azido-butane	TIC	79906	0.07	6409	0.02
6	2-Ethylpentane	TIC	239143	0.22	36411	0.14
7	Cyclotrisiloxane, hexamethyl	TIC	100163	0.09	12244	0.05
8	Benzene, methyl- (CAS) Toluene	TIC	10653506	9.7	981462	3.64
9	1-Heptanol	TIC	190623	0.17	27762	0.1
10	Tetramethylbutane	TIC	46336	0.04	12423	0.05
11	Ethene, tetrachloro- (CAS) Tetrachloroethylene	TIC	770198	0.7	90533	0.34
12	Nonane (CAS) n-Nonane	TIC	527517	0.48	90269	0.34
13	Cyclohexane, 1,1-dimethyl- (CAS) 1,1-Dimethylcyclohexane	TIC	79845	0.07	13164	0.05
14	Ethanedioic acid, dibutyl ester	TIC	64971	0.06	14562	0.05
15	Butanoic acid, 2-methyl-, 2-methylbutyl ester	TIC	149007	0.14	25519	0.09
16	Octane, 3,6-dimethyl- (CAS) 3,6-Dimethyloctane	TIC	118114	0.11	25680	0.1
17	5-Octen-4-one, 7-methyl	TIC	16485	0.02	8116	0.03
18	Pentane, 2,3-dimethyl- (CAS) 2,3-Dimethylpentane	TIC	136565	0.12	31119	0.12
19	Ethylbenzee	TIC	917979	0.84	251348	0.93
20	Benzene, 1,4-dimethyl- (CAS) p-Xylene	TIC	2535396	2.31	440911	1.64
21	2-Pinene	TIC	3083435	2.81	561407	2.08
22	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS) o-Xylene	TIC	952022	0.87	179903	0.67
23	Styrene	TIC	92688	0.08	24064	0.09
24	Decane (CAS) n-Decane	TIC	2038753	1.86	393164	1.46
25	Benzene, (1-methylethyl)- (CAS) Isopropylbenzene	TIC	401372	0.37	103601	0.38

ตารางผนวกที่ ก27 (ต่อ)

no.	name	Column	Area	%area	Hight	% Hight
26	Decane, 4-methyl- (CAS) 4-Methyldecane	TIC	310846	0.28	73580	0.27
27	Cyclohexane, 1,1-dimethyl- (CAS) 1,1-Dimethylcyclohexane	TIC	110429	0.1	17618	0.07
28	Tetradecane (CAS) n-Tetradecane	TIC	39859	0.04	13349	0.05
29	2-.BETA.-PINENE	TIC	3846024	3.5	892337	3.31
30	Benzene, 1-ethyl-3-methyl- (CAS) m-Ethyltoluene	TIC	5013009	4.56	1103074	4.09
31	2-Ethylhexyl ester of butanoic acid	TIC	44229	0.04	22208	0.08
32	OCTANE, 2,3,3-TRIMETHYL	TIC	68376	0.06	32122	0.12
33	Cyclohexane, butyl- (CAS) n-Butylcyclohexane	TIC	16926	0.02	10500	0.04
34	Cyclopentane, pentylidene- (CAS)	TIC	117931	0.11	48600	0.18
35	Decane, 3-methyl- (CAS) 3-Methyldecane	TIC	68087	0.06	24860	0.09
36	Benzene, 1,3,5-trimethyl- (CAS) 1,3,5-Trimethylbenzene	TIC	1648096	1.5	427802	1.59
37	Benzene, 1,2,3-trimethyl- (CAS) 1,2,3-Trimethylbenzene	TIC	2927500	2.67	1022548	3.8
38	dl-Limonene	TIC	22444180	20.38	7883064	29.27
39	Undecane (CAS) n-Undecane	TIC	931504	0.85	239518	0.89
40	Benzene, methyl(1-methylethyl)- (CAS) Cymol	TIC	1912411	1.74	727628	2.7
41	1,8-Cineole	TIC	357701	0.33	136212	0.51
42	Trisulfide, dimethyl (CAS) 2,3,4-Trithiapentane	TIC	120767	0.11	52255	0.19
43	(E)-3-Methylpent-3-en-2-ol	TIC	9431	0.01	4972	0.02
44	Benzene, 1,3,5-trimethyl- (CAS) 1,3,5-Trimethylbenzene	TIC	596683	0.54	236844	0.88
45	Ethane, hexafluoro- (CAS) Hexafluoroethane	TIC	5495	0.01	3273	0.01
46	Benzene, (1-methylpropyl)- (CAS) sec-Butylbenzene	TIC	196930	0.18	81127	0.3
47	Benzene, 1,2-diethyl- (CAS) 1,2-Diethylbenzene	TIC	156578	0.14	73608	0.27
48	Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl- (CAS) 3-Ethyl-o-xylene	TIC	257102	0.23	96565	0.36
49	Butane, 1-bromo-2-methyl- (CAS) 1-Bromo-2-methylbutane	TIC	10309	0.01	6240	0.02
50	Trimethylcyclohexanone	TIC	142232	0.13	54776	0.2

ตารางผนวกที่ ก27 (ต่อ)

no.	name	Column	Area	%area	Hight	% Hight
51	Benzene, cyclopropyl- (CAS) Cyclopropylbenzene	TIC	298675	0.27	73185	0.27
52	Propyl hexanoate	TIC	693233	0.63	317794	1.18
53	Heptanoic acid, ethyl ester (CAS) Ethyl heptanoate	TIC	406039	0.37	177112	0.66
54	Benzene, methyl(1-methylethyl)- (CAS) Cymol	TIC	118320	0.11	58252	0.22
55	Cyclododecanone (CAS) CYCLODODECANON	TIC	6447	0.01	5136	0.02
56	Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl- (CAS) 3-Ethyl-o-xylene	TIC	177526	0.16	84797	0.31
57	4,7-Methano-1H-indene, octahydro- (CAS) Tricyclo[5.2.1.0(2,6)]decane	TIC	49879	0.05	25226	0.09
58	Benzyl 4-methylphenyl ketone	TIC	8457	0.01	3768	0.01
59	ISO BUTYL HEXANOATE	TIC	550708	0.5	232211	0.86
60	Methyl 4-chlorodecanoate	TIC	31422	0.03	12025	0.04
61	7-Methyl-7-(p-tolylsulfonyl)bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene	TIC	25707	0.02	8698	0.03
62	Ethanone, 1-(2-methylphenyl)- (CAS) o-Methylacetophenone	TIC	25414	0.02	13750	0.05
63	Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl- (CAS) 1,2,3,5-Tetramethylbenzene	TIC	130795	0.12	59557	0.22
64	Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl- (CAS) Prehnitol	TIC	105484	0.1	47413	0.18
65	tetra(2,4,6-trimethylphenyl)cyclotetrasiloxane	TIC	13152	0.01	5611	0.02
66	Dodecamethylcyclohexasiloxane	TIC	1017472	0.93	222178	0.82
67	2-(Dichloroamino)-2-methylpropane	TIC	18833	0.02	3969	0.01
68	propyl heptanoate	TIC	314450	0.29	122067	0.45
69	Octanoic acid, ethyl ester (CAS) Ethyl caprylate	TIC	104439	0.1	52610	0.2
70	2,3,5-trimethylidenebicyclo[2.2.1]heptane	TIC	4947	0	3515	0.01
71	Ethyl 2-ethyl-3-oxothiolhexanoate	TIC	8805	0.01	5567	0.02
72	Butyl heptanoate	TIC	163584	0.15	86603	0.32
73	4-Heptanone, 3-methyl- (CAS) 3-Methyl-4-heptanone	TIC	16622	0.02	10143	0.04
74	4,4-Dimethyl-1-hepten-5-yne	TIC	11154	0.01	7347	0.03
75	3-METHYLBUTYL HEXANOATE	TIC	21323	0.02	11726	0.04

ตารางผนวกที่ ก27 (ต่อ)

no.	name	Column	Area	%area	Hight	% Hight
76	2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6-propyl- (CAS) .delta.-Octalactone	TIC	6085	0.01	5023	0.02
77	Ethyl 3-Hydroxy-2-methylene-4-methylpentanoate	TIC	4710	0	4099	0.02
78	6-hepertonitrile	TIC	2156	0	2137	0.01
79	2,2,2-trifluoroethyl (methanesulfonyl)methanesulfonate	TIC	5680	0.01	1637	0.01
80	2-ethylhexyl 2-ethylbutyrate	TIC	26186	0.02	15723	0.06
81	Propyl octanoate	TIC	43022	0.04	27481	0.1
82	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl- (CAS)	TIC	458771	0.42	155066	0.58
83	Pentadecane (CAS) n-Pentadecane	TIC	34539	0.03	18519	0.07
84	Formic acid, pentyl ester (CAS) Amyl formate	TIC	3324	0	2475	0.01
85	2,2,5,5-tetramethyl-3,4-bis(methylene)cyclopent-1-yl p-toluenesulfonate	TIC	8912	0.01	4338	0.02
86	LONGIBORN-8-ENE	TIC	45917	0.04	25380	0.09
87	.alpha.-Copaene	TIC	341712	0.31	171359	0.64
88	N-n-Butyl-N'-n-pentyldiazene	TIC	6164	0.01	5057	0.02
89	Gamma-Cadinene	TIC	69040	0.06	36191	0.13
90	Di-n-octyl disulfide	TIC	6578	0.01	4478	0.02
91	Perilla alcohol	TIC	33316	0.03	20095	0.07
92	trans-Caryophyllene	TIC	1044847	0.95	487916	1.81
93	.alpha.-Humulene	TIC	170429	0.16	86169	0.32
94	1-pentylhexylbenzene	TIC	5156	0	4744	0.02
95	Di-n-octyl disulfide	TIC	7895	0.01	5543	0.02
96	aromadendrene 2	TIC	30237	0.03	18234	0.07
97	aromadendrene 2	TIC	17226	0.02	11607	0.04
98	tert-butyl(2-methylbutyl)isopropoxyborane	TIC	6722	0.01	4076	0.02
99	epithio-2,8-p-menthene-1	TIC	50079	0.05	26475	0.1
100	SILICATE ANION TETRAMER	TIC	24015	0.02	9655	0.04



ตารางผนวกที่ ข1 ระดับการทำลายดีเอ็นเอของเปิดฤดูฝน

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	587	514	75.78182	73	24.21818	0.242182	1.494182	0.124361
2	359	265	58.88749	94	41.11251	1.233375	2.366688	0.261838
3	525	278	34.4468	247	65.5532	11.79958	5.024442	0.470476
4	831	556	37.20971	275	62.79029	6.279029	3.537572	0.330927
5	656	241	42.96	415	57.04	9.6968	6.5348	0.632622
6	595	418	59.26868	177	40.73132	8.146264	3.813037	0.297479
7	4093	1856	37.30888	2237	62.69112	43.25687	17.92275	0.546543
8	1091	564	49.83224	527	50.16776	8.52852	5.317758	0.483043
9	1026	997	94.69311	29	5.306888	0.053069	0.119807	0.028265
10	1130	734	44.13215	396	55.86785	3.910749	3.920208	0.350442
11	1557	535	50.09977	1022	49.90023	16.96608	8.274776	0.65639
12	757	662	73.19986	95	26.80014	2.948016	1.621397	0.125495
13	823	650	56.09619	173	43.90381	4.829419	2.973368	0.210207
14	4406	1328	35.41764	3078	64.58236	43.27018	26.47001	0.698593
15	410	384	68.13786	26	31.86214	0	1.447558	0.063415
16	785	468	56.80043	317	43.19958	7.775924	2.878294	0.403822
17	718	346	50.85927	372	49.14073	4.422666	2.887393	0.518106
18	544	519	98.73908	25	1.260926	0.025219	0.098295	0.045956
19	477	212	39.96679	265	60.03321	7.203986	3.034182	0.555556
20	529	374	72.90919	155	27.09081	5.147253	2.186426	0.293006
21	2530	1280	49.59688	1250	50.40312	12.60078	7.151004	0.494071
22	814	766	75.84147	48	24.15853	1.207926	0.917986	0.058968
23	619	414	40.91933	205	59.08068	5.317261	3.047186	0.331179
24	746	688	97.75796	58	2.242038	0.112102	0.047643	0.077748
25	1716	660	33.25377	1056	66.74624	10.01194	7.013435	0.615385
26	1516	926	71.81682	590	28.18318	7.327628	4.765199	0.389182
27	1009	983	79.3634	26	20.6366	1.238196	1.134484	0.025768
28	4500	2646	62.2825	1854	37.7175	12.0696	11.70569	0.412

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	1434	1253	72.20815	181	27.79185	0.555837	1.865991	0.12622
30	1434	1253	72.20815	181	27.79185	0.555837	1.865991	0.12622
31	475	430	86.18411	45	13.81589	0.138159	0.653296	0.094737
32	6614	4366	79.92527	2248	20.07473	3.814199	7.15903	0.339885
33	1963	536	51.83466	1427	48.16534	19.26614	10.20324	0.726949
34	1458	1447	69.6052	11	30.3948	0.607896	1.46467	0.007545
35	1044	923	81.61191	121	18.38809	0	0.799903	0.1159
36	397	290	61.16435	107	38.83565	1.553426	1.504193	0.269521
37	433	357	57.30152	76	42.69848	1.707939	2.029823	0.17552
38	1086	958	93.55387	128	6.446133	0.386768	0.68397	0.117864
39	267	210	89.00605	57	10.99395	0.219879	0.598387	0.213483
40	1463	1024	71.42306	439	28.57694	1.428847	3.519581	0.300068
41	1552	1240	85.91737	312	14.08263	2.253221	2.661255	0.201031
42	1205	866	77.4174	339	22.5826	1.12913	1.9417	0.281328
43	517	498	85.94695	19	14.05305	0.140531	0.688217	0.03675
44	2444	488	27.63653	1956	72.36347	34.01083	12.23311	0.800327
45	631	314	67.5693	317	32.4307	5.837526	2.528236	0.502377
46	493	395	92.05523	98	7.944778	0.556134	0.884258	0.198783
47	641	378	61.80673	263	38.19327	4.583193	3.259506	0.410296
48	8124	2800	45.48312	5324	54.51688	49.06519	25.76616	0.655342
49	1391	248	30.89877	1143	69.10123	24.87644	9.62667	0.821711
50	1022	474	67.20219	548	32.79781	6.887539	3.451734	0.536204
								0.331178

ตารางผนวกที่ ข2 ระดับการทำลายดีเอ็นเอของปึกฤดูฝน

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	1489	1261	61.15945	228	38.84055	3.49565	2.857855	0.153123
2	2070	2069	76.5822	1	23.4178	0	3.026627	0.000483
3	1590	1582	63.70739	8	36.29261	2.540483	2.434266	0.005031
4	992	991	85.10258	1	14.89743	0	0.988021	0.001008
5	949	928	45.59872	21	54.40128	10.88026	5.111014	0.022129
6	970	952	68.23764	18	31.76237	0.635247	1.609359	0.018557
7	647	645	79.77941	2	20.22059	0.202206	1.307394	0.003091
8	575	574	75.44555	1	24.55446	0	1.078988	0.001739
9	672	671	78.65571	1	21.34429	0	0.863181	0.001488
10	7267	7228	68.10503	39	31.89497	12.75799	8.897512	0.005367
11	517	232	57.86707	285	42.13293	3.791964	1.869133	0.551257
12	739	585	80.07257	154	19.92743	0.996372	1.096807	0.20839
13	1285	556	53.73492	729	46.26508	4.626508	3.957315	0.567315
14	1333	763	39.27448	570	60.72552	9.108828	4.408751	0.427607
15	773	516	40.65066	257	59.34933	7.12192	3.378553	0.332471
16	733	166	16.84332	567	83.15668	9.147234	6.002313	0.773533
17	510	250	64.80123	260	35.19877	3.167889	2.191432	0.509804
18	14763	11169	58.0649	3594	41.93511	25.99977	18.36779	0.243446
19	1922	1564	53.64192	358	46.35808	5.56297	3.249392	0.186264
20	677	334	69.61024	343	30.38976	2.735078	2.219761	0.506647
21	1101	1064	75.10368	37	24.89632	2.240669	1.088696	0.033606
22	911	416	35.71975	495	64.28025	7.070827	3.233905	0.543359
23	897	888	66.37392	9	33.62608	2.690086	1.622868	0.010033
24	614	571	53.17907	43	46.82094	3.277466	1.531574	0.070033
25	728	672	75.76943	56	24.23057	1.69614	1.062598	0.076923
26	491	186	66.80353	305	33.19647	3.983576	2.305276	0.621181
27	688	538	56.33611	150	43.6639	2.183195	1.662302	0.218023
28	450	209	58.86023	241	41.13977	2.879784	2.046034	0.535556

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	1248	978	62.90016	270	37.09984	4.080983	2.33851	0.216346
30	1263	1165	77.98283	98	22.01717	0.220172	0.940687	0.077593
31	1019	642	59.2953	377	40.70469	2.442282	1.966027	0.369971
32	2436	1575	46.73389	861	53.26611	5.326612	5.331751	0.353448
33	342	272	98.11716	70	1.882845	0.056485	0.135565	0.204678
34	1956	1882	77.50985	74	22.49015	2.923719	1.736673	0.037832
35	625	603	74.93969	22	25.06031	1.754222	1.089684	0.0352
36	1297	1176	98.36218	121	1.637814	0	0.202223	0.093292
37	1195	1077	75.50613	118	24.49387	3.184203	1.430322	0.098745
38	1126	591	36.7141	535	63.2859	10.7586	4.449894	0.475133
39	655	580	72.41927	75	27.58073	1.103229	0.891124	0.114504
40	2963	1665	37.57684	1298	62.42316	6.866548	8.490603	0.43807
41	2785	2134	62.92209	651	37.07791	8.15714	3.385614	0.233752
42	3398	2244	54.43252	1154	45.56748	13.67024	6.368593	0.339612
43	1295	803	55.88476	492	44.11524	3.970371	3.529492	0.379923
44	2065	582	35.502	1483	64.498	11.60964	8.014368	0.71816
45	971	712	63.25737	259	36.74263	2.204558	1.995924	0.266735
46	718	392	56.12434	326	43.87566	5.265079	2.105097	0.454039
47	1092	539	39.35033	553	60.64968	10.31045	3.833283	0.50641
48	1317	643	59.71078	674	40.28922	8.057844	3.900874	0.511769
49	2704	2084	66.69523	620	33.30477	3.996572	3.60383	0.22929
50	525	418	65.99166	107	34.00834	2.0405	1.191979	0.20381
								0.259716

ตารางผนวกที่ ข3 ระดับการทำลายดีเอ็นเอของเป็ดฤดูเลี้ยง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	1069	524	26.76974	545	73.23026	13.91375	9.844616	0.509822
2	2182	1906	85.3237	276	14.6763	1.174104	1.693401	0.126489
3	1457	1044	66.72399	413	33.27601	3.993121	2.969501	0.283459
4	1712	1122	74.45358	590	25.54642	3.831963	4.350482	0.344626
5	438	206	46.35294	232	53.64706	10.19294	3.362647	0.52968
6	643	488	82.11994	155	17.88006	3.218411	1.961496	0.241058
7	1498	388	38.5111	1110	61.4889	29.51467	13.35192	0.740988
8	502	126	29.12546	376	70.87454	9.922436	5.744619	0.749004
9	1177	587	69.97766	590	30.02234	8.706478	6.07662	0.501274
10	641	186	25.64974	455	74.35026	16.35706	7.705004	0.709828
11	3121	2235	59.87245	886	40.12754	18.05739	8.084095	0.283883
12	463	229	38.93983	234	61.06018	7.937823	3.825471	0.5054
13	1138	606	44.57045	532	55.42955	2.217182	5.408964	0.467487
14	1015	372	37.45239	643	62.54761	11.88405	6.619807	0.633498
15	1079	784	61.14747	295	38.85253	7.38198	3.123417	0.273401
16	2254	548	21.91542	1706	78.08458	40.60398	19.06274	0.756877
17	1303	1050	84.21012	253	15.78988	3.157976	2.712862	0.194167
18	1587	889	45.35333	698	54.64667	9.289934	7.526853	0.439824
19	1361	1108	75.8083	253	24.1917	0.241917	3.063805	0.185893
20	1696	1222	77.63485	474	22.36515	2.907469	4.905406	0.279481
21	984	288	36.36161	696	63.63839	17.18237	6.865843	0.707317
22	1187	908	56.65382	279	43.34618	3.901156	4.339719	0.235046
23	1632	1488	74.38773	144	25.61227	0.512245	2.051423	0.088235
24	4404	3697	73.27806	707	26.72194	4.809948	4.639979	0.160536
25	4850	1980	32.13024	2870	67.86977	24.43312	12.63561	0.591753
26	1992	954	47.63832	1038	52.36168	12.04319	6.255651	0.521084
27	3115	2786	86.99963	329	13.00037	0	1.009968	0.105618
28	4519	2082	33.05617	2437	66.94383	24.76922	17.3633	0.539279

ตารางผนวกที่ ข3 ระดับการทำลายดีเอ็นเอของเป็ดฤดูเลี้ยง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	3112	3048	94.40487	64	5.595129	0.839269	0.900578	0.020566
30	4528	1865	25.56784	2663	74.43216	43.17065	21.27697	0.588118
31	1268	985	76.58645	283	23.41355	1.873084	2.548605	0.223186
32	5599	4485	53.5544	1114	46.4456	14.86259	7.549804	0.198964
33	7793	3986	53.74289	3807	46.25711	19.89056	16.82357	0.488515
34	1589	1569	97.39475	20	2.605247	0.026052	0.057474	0.012587
35	1320	796	27.24068	524	72.75932	18.91743	9.636946	0.39697
36	619	609	71.88104	10	28.11896	1.968327	1.097921	0.016155
37	1085	1055	81.15886	30	18.84114	1.507291	0.753645	0.02765
38	995	652	44.84365	343	55.15635	6.067199	3.57078	0.344724
39	734	641	77.53017	93	22.46983	2.022285	1.456578	0.126703
40	392	308	63.79191	84	36.20809	1.810405	1.541984	0.214286
41	776	678	86.22273	98	13.77727	0.551091	0.994145	0.126289
42	1038	756	70.08379	282	29.91622	3.589946	2.373513	0.271676
43	911	840	84.89345	71	15.10655	0	0.698258	0.077936
44	484	308	78.31169	176	21.68831	3.253247	1.750487	0.363636
45	5031	2196	38.11131	2835	61.8887	22.89882	16.08357	0.563506
46	1201	941	56.63211	260	43.3679	4.770469	4.012263	0.216486
47	2642	1412	32.36483	1230	67.63517	28.40677	9.915638	0.465556
48	2132	1726	71.53912	406	28.46089	0	3.351442	0.190432
49	13589	5562	53.54521	8027	46.45479	25.08559	23.06016	0.590698
50	3187	2250	68.26183	937	31.73817	7.29978	7.383888	0.294007
								0.350473

ตารางผนวกที่ ๗4 ระดับการทำลายดีเอ็นเอของปศุสัตว์เลี้ยง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area (px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	248	216	84.13793	32	15.86207	0.158621	0.432439	0.129032
2	141	129	97.34548	12	2.654517	0.026545	0.11767	0.085106
3	168	153	80.12422	15	19.87578	0.397516	0.546894	0.089286
4	3178	620	37.05955	2558	62.94045	25.17618	19.62624	0.804909
5	664	514	75.10991	150	24.89009	0.746703	1.427173	0.225904
6	288	174	73.28736	114	26.71264	1.335632	1.304521	0.395833
7	186	126	58.40665	60	41.59335	1.663734	1.464565	0.322581
8	190	171	98.28125	19	1.71875	0	0.11224	0.1
9	154	86	57.04287	68	42.95713	1.718285	1.300087	0.441558
10	121	108	98.51463	13	1.485365	0.014854	0.081258	0.107438
11	144	110	92.41645	34	7.583547	0.227506	0.327442	0.236111
12	111	80	65.38637	31	34.61363	1.038409	0.888889	0.279279
13	122	118	99.95364	4	0.046361	0	0	0.032787
14	162	80	36.15257	82	63.84743	3.830846	2.037728	0.506173
15	925	570	67.14201	355	32.85799	0.98574	2.273143	0.383784
16	1053	640	64.10029	413	35.89971	3.948968	2.479676	0.392213
17	388	152	58.9132	236	41.0868	3.697812	1.839238	0.608247
18	812	416	60.17631	396	39.82369	4.380606	2.694247	0.487685
19	222	120	52.85235	102	47.14765	2.357383	1.985403	0.459459
20	250	180	79.01072	70	20.98928	0.419786	0.826381	0.28
21	1078	836	69.82544	242	30.17456	1.810474	1.921106	0.22449
22	596	148	28.65182	448	71.34818	9.988746	4.086752	0.751678
23	320	174	58.75441	146	41.2456	2.887192	2.032168	0.45625
24	280	188	63.37781	92	36.62219	0	1.422577	0.328571
25	302	174	71.53961	128	28.46039	0.853812	1.281614	0.423841
26	328	128	35.13976	200	64.86024	6.486024	2.632915	0.609756
27	306	196	62.82201	110	37.17799	1.487119	1.418033	0.359477
28	258	214	95.24552	44	4.754482	0.09509	0.304949	0.170543

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	264	144	59.71026	120	40.28974	2.014487	1.401331	0.454545
30	608	339	49.76017	269	50.23983	3.516788	2.613872	0.442434
31	471	358	75.38273	113	24.61727	0.738518	0.974036	0.239915
32	262	208	85.92734	54	14.07266	0.281453	0.513002	0.206107
33	275	106	40.55147	169	59.44853	5.944853	2.430699	0.614545
34	333	228	77.90882	105	22.09118	0.662735	0.931174	0.315315
35	241	190	70.23367	51	29.76632	0.595326	0.86591	0.211618
36	164	116	71.79197	48	28.20803	1.128321	0.901357	0.292683
37	519	457	70.81592	62	29.18409	0.583682	1.375941	0.119461
38	895	704	84.90766	191	15.09233	1.207387	1.292414	0.213408
39	555	554	96.96714	1	3.032856	0.030329	0.032716	0.001802
40	414	390	85.57532	24	14.42468	0	0.419956	0.057971
41	365	291	77.32635	74	22.67366	1.360419	1.177869	0.20274
42	550	386	67.44065	164	32.55935	2.930342	2.472215	0.298182
43	1341	1291	71.09578	50	28.90422	4.913716	1.760828	0.037286
44	648	340	44.64693	308	55.35308	7.749431	4.115694	0.475309
45	252	223	87.67576	29	12.32424	0.616212	0.503722	0.115079
46	509	508	98.67182	1	1.328174	0	0.02238	0.001965
47	1033	821	70.71852	212	29.28149	1.756889	2.025011	0.205227
48	966	771	61.4041	195	38.5959	4.245549	2.202583	0.201863
49	1166	1083	70.55272	83	29.44728	3.828147	2.190742	0.071184
50	1274	676	57.11169	598	42.88831	4.288831	3.767273	0.469388
								0.2988

ตารางผนวกที่ ข5 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควมคุมฤดูฝนที่ 0 ชั่วโมง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	4294	3865	93.173468	429	6.826534	0.75092	2.029159	0.09991
2	6239	6190	79.989189	49	20.010813	10.0054	7.686648	0.00785
3	6194	5963	83.302015	231	16.697985	5.17638	6.801164	0.03729
4	1800	1726	99.781579	74	0.218421	0.01311	0.046447	0.04111
5	11026	4820	40.465751	6206	59.534252	65.4877	33.304565	0.56285
6	3407	2898	95.455313	509	4.544684	0.86349	1.350154	0.1494
7	6879	4930	69.080693	1949	30.919307	15.4597	10.0619	0.28333
8	5990	5207	69.264412	783	30.735588	13.2163	8.914845	0.13072
9	1125	1124	99.999064	1	0.000936	9E-06	0	0.00089
10	10170	4296	39.071789	5874	60.928208	64.5839	30.121748	0.57758
11	378	377	99.997395	1	0.002602	0	0	0.00265
12	2456	2278	95.873886	178	4.126113	0.5364	0.978873	0.07248
13	7770	4385	68.420821	3385	31.579179	24.316	12.392065	0.43565
14	2334	2233	94.228566	101	5.771437	0.46172	1.167829	0.04327
15	1484	1483	99.999005	1	0.000994	0.00001	0	0.00067
16	3205	2692	88.907385	513	11.092612	1.99667	3.708869	0.16006
17	3605	2818	81.766135	787	18.233865	7.11121	5.106812	0.21831
18	460	459	99.998689	1	0.001312	3.9E-05	0	0.00217
19	1558	1557	79.15796	1	20.842038	0.62526	3.637992	0.00064
20	3748	2970	93.315518	778	6.684483	1.27005	2.160917	0.20758
21	3906	3735	89.553297	171	10.446703	2.40274	3.217393	0.04378
22	1151	1145	99.849236	6	0.150762	0.00452	0.027276	0.00521
23	3905	3881	88.520873	24	11.479129	2.86978	3.010495	0.00615
24	5011	4217	90.342379	794	9.657618	2.0281	3.248045	0.15845
25	7248	6160	68.934405	1088	31.065595	16.7754	9.943979	0.15011
26	7055	5836	77.43746	1219	22.562541	6.76876	7.174709	0.17279
27	3504	3467	99.477369	37	0.522633	0.02613	0.135833	0.01056
28	3278	3202	96.611315	76	3.388685	0.37276	0.776152	0.02318

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	6278	4981	76.482421	1297	23.51758	10.8181	6.162917	0.20659
30	4699	4520	97.232848	179	2.76715	0.3874	0.845934	0.03809
31	3780	3779	99.383199	1	0.616801	0	0.171815	0.00026
32	2618	2569	99.521983	49	0.478015	0.0239	0.099988	0.01872
33	2478	2477	99.999464	1	0.000536	5E-06	0	0.0004
34	4788	4664	91.918588	124	8.081411	1.53547	2.366576	0.0259
35	5544	5358	92.324811	186	7.675187	1.9188	2.345328	0.03355
36	4858	4044	93.107867	814	6.892131	1.17166	1.597961	0.16756
37	4137	3893	97.830766	244	2.169234	0.23862	0.580586	0.05898
38	3226	3085	99.323469	141	0.67653	0.04736	0.194078	0.04371
39	6936	5694	76.880246	1242	23.119754	12.7159	7.639588	0.17907
40	5251	4834	80.5188	417	19.481203	6.81842	5.612734	0.07941
41	4150	4070	87.678164	80	12.321836	3.69655	3.11879	0.01928
42	750	749	99.998087	1	0.001911	0	0	0.00133
43	7191	6312	78.270012	879	21.729988	9.99579	7.600391	0.12224
44	8588	6705	59.620738	1883	40.379262	23.42	14.469465	0.21926
45	479	478	99.996895	1	0.003107	3.1E-05	0	0.00209
46	5938	5922	98.507535	16	1.492467	0.26864	0.378231	0.00269
47	3223	2304	54.087967	919	45.912033	16.5283	9.641418	0.28514
48	5099	5098	99.999166	1	0.000832	0	0	0.0002
49	7715	7362	81.494004	353	18.505998	8.51276	5.799229	0.04576
50	4507	3862	83.383363	645	16.616639	4.48649	4.344214	0.14311
								0.10596

ตารางผนวกที่ ข6 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควมคุมดูแลที่ 0 ชั่วโมง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	546	467	86.717957	79	13.282041	0.39846	0.81636	0.14469
2	603	466	69.802624	137	30.197373	1.81184	1.866063	0.2272
3	2772	2743	95.060092	29	4.939906	0	0.5325	0.01046
4	4676	4660	90.791285	16	9.208716	0	1.506826	0.00342
5	3422	3357	89.475167	65	10.524835	0	1.616402	0.01899
6	1824	1632	84.447789	192	15.552212	0	2.059138	0.10526
7	360	288	76.72928	72	23.270719	1.39624	1.536354	0.2
8	1091	864	72.866338	227	27.133664	1.62802	2.821988	0.20807
9	893	892	96.908247	1	3.091753	0	0.130684	0.00112
10	523	512	92.641979	11	7.358022	0	0.385387	0.02103
11	622	605	95.240045	17	4.759958	0.0476	0.496666	0.02733
12	1542	1325	78.976929	217	21.023072	1.47162	2.526443	0.14073
13	2209	2123	87.448722	86	12.551276	0	1.243472	0.03893
14	688	616	87.060058	72	12.93994	0.3882	0.811517	0.10465
15	747	711	91.776484	36	8.223516	0.24671	0.75644	0.04819
16	852	610	58.646584	242	41.353413	3.72181	3.702191	0.28404
17	270	200	60.097486	70	39.902517	1.99513	1.875576	0.25926
18	1112	1083	90.666997	29	9.333006	0	0.851164	0.02608
19	359	330	95.527655	29	4.472346	0.08945	0.267978	0.08078
20	505	288	51.723641	217	48.276362	4.82764	3.58658	0.4297
21	555	554	99.996829	1	0.003169	0	0	0.0018
22	569	486	81.145769	83	18.854231	0.56563	1.411269	0.14587
23	236	217	91.61756	19	8.38244	0.16765	0.516131	0.08051
24	438	366	84.46514	72	15.534861	0.62139	1.217891	0.16438
25	578	422	60.88199	156	39.11801	2.34708	3.15019	0.2699
26	462	461	97.939849	1	2.060154	0	0.064963	0.00216
27	1053	858	71.317667	195	28.68233	1.72094	2.878407	0.18519
28	898	824	89.854872	74	10.145129	0.40581	0.927055	0.08241

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area (px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	1577	1422	81.512958	155	18.487045	0.55461	1.939661	0.09829
30	319	246	71.349353	73	28.650647	1.14603	1.673845	0.22884
31	317	244	72.937149	73	27.062851	0.81189	1.490125	0.23028
32	238	235	96.587515	3	3.412482	0	0.174517	0.01261
33	962	835	87.909311	127	12.090691	0.24181	0.840767	0.13202
34	2965	2886	91.36886	79	8.631139	0	0.905603	0.02664
35	1269	914	63.484311	355	36.515689	3.28641	4.116152	0.27975
36	1120	1011	86.616534	109	13.383463	0.53534	1.235014	0.09732
37	2703	2564	89.715993	139	10.284007	0.10284	1.539311	0.05142
38	462	282	58.05282	180	41.947177	3.35577	3.60107	0.38961
39	2719	1248	40.575272	1471	59.424728	16.6389	12.461913	0.54101
40	371	343	90.421897	28	9.578101	0.19156	0.671886	0.07547
41	923	410	47.630477	513	52.369523	10.4739	8.428145	0.5558
42	829	794	86.859071	35	13.14093	0	0.869228	0.04222
43	350	282	77.377051	68	22.62295	0.90492	1.463031	0.19429
44	542	234	38.008121	308	61.991882	8.05895	5.400822	0.56827
45	478	292	58.833504	186	41.166499	2.88166	3.195105	0.38912
46	333	282	80.455279	51	19.544719	0.39089	1.167565	0.15315
47	684	540	74.688482	144	25.311515	1.26558	2.21123	0.21053
48	1408	796	63.140804	612	36.859196	5.16029	5.059961	0.43466
49	766	562	71.390033	204	28.60997	2.0027	2.566777	0.26632
50	938	812	80.682468	126	19.317532	0.7727	1.89669	0.13433
								0.16848

ตารางผนวกที่ ข7 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควมคุมฤดูฝนที่ 96 ชั่วโมง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area(px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	421	391	88.65248	30	11.347517	0.22695	0.807086	0.07126
2	429	254	63.106441	175	36.893561	3.32042	2.955073	0.40793
3	393	266	65.847778	127	34.152225	2.39066	2.600791	0.32316
4	988	900	90.02856	88	9.971439	0.698	1.346662	0.08907
5	227	182	81.116676	45	18.883324	0.75533	1.025497	0.19824
6	973	628	69.382292	345	30.617708	3.67413	3.853248	0.35457
7	617	585	88.297963	32	11.702035	0.23404	0.763318	0.05186
8	289	210	65.838116	79	34.161881	1.36648	1.890524	0.27336
9	342	336	94.833368	6	5.166634	0.05167	0.308499	0.01754
10	323	300	90.03883	23	9.96117	0.09961	0.500238	0.07121
11	625	487	74.288124	138	25.711876	1.28559	2.312976	0.2208
12	370	296	75.887519	74	24.112479	0.9645	1.513276	0.2
13	1317	1034	78.395307	283	21.604694	1.29628	2.982849	0.21488
14	221	142	57.532078	79	42.467919	2.1234	2.241379	0.35747
15	155	144	90.186954	11	9.813044	0.09813	0.437188	0.07097
16	1233	927	74.525863	306	25.474137	2.29267	3.562475	0.24818
17	1000	702	64.899546	298	35.100451	2.45703	4.261991	0.298
18	1160	1097	89.779723	63	10.220276	0.20441	1.164688	0.05431
19	759	690	93.216419	69	6.783579	0.27134	0.891387	0.09091
20	1572	1305	82.437575	267	17.562427	1.40499	2.810871	0.16985
21	1709	1066	62.269568	643	37.730435	6.03687	6.797423	0.37624
22	2091	1770	88.399535	321	11.600462	0.46402	2.212003	0.15352
23	2259	1911	80.390674	348	19.609326	1.37265	3.036971	0.15405
24	284	216	72.95258	68	27.04742	1.0819	1.746434	0.23944
25	677	518	71.927685	159	28.072315	2.24579	2.818109	0.23486
26	398	268	63.583475	130	36.416525	2.91332	2.839652	0.32663
27	542	452	79.845703	90	20.154296	1.00772	1.594614	0.16605
28	2889	1853	70.946378	1036	29.053622	6.68233	6.447578	0.3586

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area (px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	710	622	85.194325	88	14.805672	0.14806	1.188964	0.12394
30	329	262	73.780382	67	26.219615	0.78659	1.753315	0.20365
31	585	499	82.549822	86	17.450179	0.87251	1.683934	0.14701
32	393	353	90.205079	40	9.794918	0.1959	0.763776	0.10178
33	309	280	90.142006	29	9.857994	0.09858	0.630692	0.09385
34	999	947	90.899712	52	9.10029	0.18201	0.959164	0.05205
35	366	220	57.656503	146	42.3435	3.38748	3.324701	0.39891
36	233	212	88.224274	21	11.775726	0.23552	0.622708	0.09013
37	1852	1632	84.63912	220	15.360877	1.22887	2.482859	0.11879
38	184	157	85.782808	27	14.217189	0.28434	0.836833	0.14674
39	1701	1392	83.428609	309	16.571394	1.49143	2.898119	0.18166
40	1483	1442	97.104371	41	2.895629	0.02896	0.275671	0.02765
41	1855	1512	80.570161	343	19.429842	1.36009	3.334808	0.18491
42	255	212	82.068968	43	17.931035	0.35862	1.026886	0.16863
43	3848	3312	90.275282	536	9.724718	2.82017	3.220786	0.13929
44	1356	1329	93.607885	27	6.392118	0	0.648364	0.01991
45	384	288	72.801769	96	27.198231	1.63189	2.092449	0.25
46	358	272	73.898035	86	26.101965	1.04408	1.666523	0.24022
47	507	353	68.494207	154	31.505796	2.83552	2.844903	0.30375
48	395	278	67.517692	117	32.482308	1.62412	2.373144	0.2962
49	282	214	73.197532	68	26.802468	1.34012	1.675634	0.24113
50	468	264	57.581407	204	42.418593	3.39349	3.168046	0.4359
								0.19518

ตารางผนวกที่ ข8 ระดับการทำลายดีเอ็นเอควมฤดูแล้งที่ 96 ชั่วโมง

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area (px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
1	4104	4103	70.07795	1	29.922053	4.48831	6.280003	0.00024
2	1924	1923	99.614954	1	0.385049	0	0.014036	0.00052
3	5848	5847	69.525933	1	30.474067	5.48533	6.833953	0.00017
4	2150	2149	73.650318	1	26.349685	0	2.539418	0.00047
5	7433	4141	64.403945	3292	35.596055	19.9338	13.163017	0.44289
6	7553	3818	59.03585	3735	40.96415	24.1688	15.17664	0.49451
7	6135	4670	70.980489	1465	29.019511	12.7686	8.822547	0.23879
8	1147	1146	95.547682	1	4.452318	0	0.274535	0.00087
9	832	831	64.901245	1	35.098755	0	1.778968	0.0012
10	4340	4339	73.784363	1	26.215634	2.09725	3.890047	0.00023
11	5616	5615	74.458015	1	25.541982	0	4.712438	0.00018
12	5293	5292	58.833718	1	41.166282	4.93995	10.1473	0.00019
13	3657	3656	84.774667	1	15.225333	0	2.132002	0.00027
14	5616	5615	57.849622	1	42.150378	2.52902	10.378869	0.00018
15	4392	4024	73.372024	368	26.627973	6.12443	5.135239	0.08379
16	5720	5719	48.850915	1	51.149088	11.7643	11.935448	0.00017
17	6806	6805	63.76282	1	36.23718	0	9.068809	0.00015
18	1786	1785	87.934476	1	12.065524	0	0.992784	0.00056
19	4864	4863	72.404152	1	27.595845	3.3115	6.837751	0.00021
20	2192	1634	81.291139	558	18.708859	2.43215	3.665016	0.25456
21	1901	1612	80.083281	289	19.916719	1.39417	2.801035	0.15203
22	3888	2386	60.574037	1502	39.425963	10.2508	10.701962	0.38632
23	1408	1407	99.983841	1	0.016157	0	0.002424	0.00071
24	4026	4025	69.273806	1	30.726194	1.53631	5.193007	0.00025
25	4473	4472	72.227049	1	27.772954	2.22184	5.835049	0.00022
26	3445	3444	62.942129	1	37.057868	4.44694	6.617906	0.00029
27	5396	5395	76.330554	1	23.669444	1.18347	4.557371	0.00019
28	1085	1084	92.91693	1	7.083073	0	0.624193	0.00092

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

no	Comet Area (px)	Head Area (px)	%DNA in Head	Tail Area (px)	%DNA in Tail	Tail Moment	Olive Moment	DNA migration
29	2685	208	9.967405	2477	90.032595	45.9166	30.640621	0.92253
30	1939	832	40.735734	1107	59.264266	13.0381	10.089295	0.57091
31	1816	1136	64.08183	680	35.918173	5.38773	6.237538	0.37445
32	2175	2120	97.961622	55	2.03838	0.02038	0.32752	0.02529
33	7592	7591	85.940033	1	14.059965	4.35859	5.447086	0.00013
34	1221	1220	84.827352	1	15.172647	0	1.018781	0.00082
35	9396	9395	61.634231	1	38.365769	8.05681	14.003659	0.00011
36	10580	10579	64.154077	1	35.84592	8.24456	12.5576	9.5E-05
37	5448	1114	15.359385	4334	84.640616	50.7844	28.475088	0.79552
38	4889	344	5.324971	4545	94.675028	71.953	35.843266	0.92964
39	10246	10245	54.284221	1	45.715779	6.85737	15.259269	9.8E-05
40	600	599	97.986317	1	2.013681	0	0.123895	0.00167
41	1216	1215	92.833567	1	7.166435	0	0.563062	0.00082
42	3233	3232	97.145778	1	2.854222	0	0.282072	0.00031
43	9114	9113	34.611574	1	65.388423	3.26942	19.360752	0.00011
44	8312	1986	12.578937	6326	87.42106	62.069	32.232052	0.76107
45	5937	736	6.843606	5201	93.156391	71.7304	33.705906	0.87603
46	8289	2130	14.399019	6159	85.600978	59.0647	31.247471	0.74303
47	8637	1560	11.163669	7077	88.83633	73.7342	36.649612	0.81938
48	7487	1142	8.566537	6345	91.433465	74.0611	36.385586	0.84747
49	7044	1596	15.141675	5448	84.858322	64.4923	31.150465	0.77342
50	6559	1007	10.028544	5552	89.971453	67.4786	32.568176	0.84647
								0.22701



1. 200 mM EDTA (Stock Solution)

ละลาย Ethelenediamine tetraacetic acid (EDTA) disodium salt 37.224 กรัมในน้ำกลั่นปรับปริมาตร เป็น 500 มิลลิลิตร

2. PBS x1

ละลายสารต่อไปนี้ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

- NaCl	8	กรัม
- Na ₂ HPO ₄	1.15	กรัม
- KCl	0.2	กรัม
- KH ₂ PO ₄	0.2	กรัม

ปรับ pH ให้ได้ 7.4 แล้วนำสารละลายที่เตรียมไว้ไป Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที(เก็บสารละลายนี้ไว้ในตู้เย็น)

3. Sorensen Buffer (50 mM KH₂PO₄ : 136.09 , 50 mM Na₂HPO₄12 H₂O : 358.14 , 0.1 mM EDTA : 372.24 , 0.5% DMSO , pH 6.8)

ละลายสารต่อไปนี้ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร (เก็บสารละลายนี้ไว้ในตู้เย็น)

- KH ₂ PO ₄	6.805	กรัม
- Na ₂ HPO ₄ 12 H ₂ O	17.907	กรัม
- 200 mM EDTA sol	0.5	มิลลิลิตร
- DMSO	5	มิลลิลิตร

4. Lysis solution (2.5 M NaCl , 100 mM EDTA , 10 mM Trizma Base)

ละลายสารต่อไปนี้ในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร

- NaCl	146.1	กรัม
- EDTA	37.2	กรัม
- Trizma base	1.2	กรัม คนให้เข้ากัน

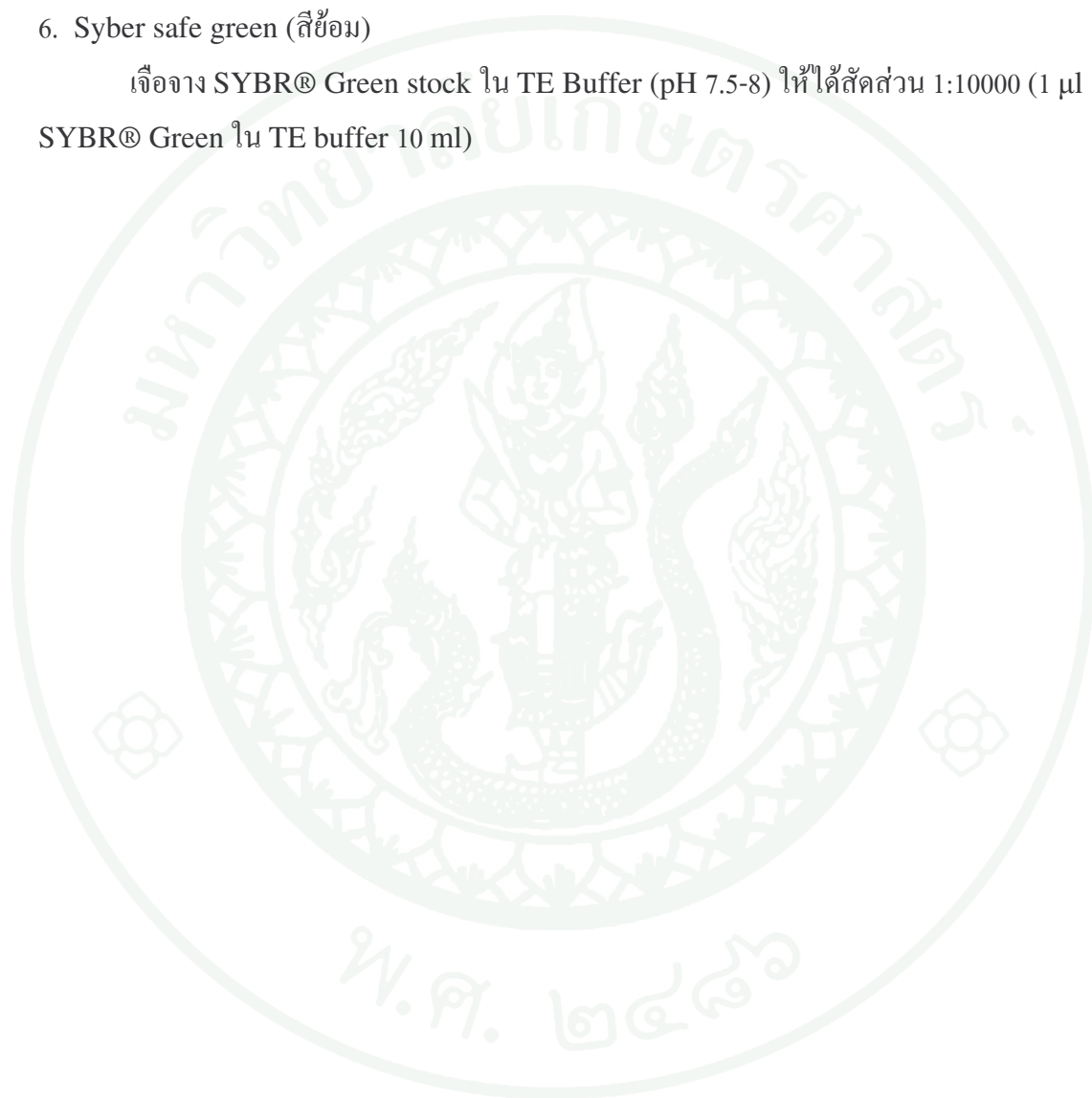
ผสม NaOH 8 กรัม แล้วคนอีก 20 นาที ปรับ pH 10 (โดยใช้ con. HCl or NaOH) ปรับปริมาตรให้ได้ 890 มิลลิลิตร แล้วเก็บสารละลายไว้ในอุณหภูมิห้อง

5. Neutralisation Buffer

ละลาย Trizma 48.5 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.5 ด้วย con. HCl คนให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

6. Syber safe green (สีข้อม)

เจือจาง SYBR® Green stock ใน TE Buffer (pH 7.5-8) ให้ได้สัดส่วน 1:10000 (1 μ l SYBR® Green ใน TE buffer 10 ml)





ภาพผนวกที่ ค1 บริเวณกองมูลฝอยเปิด อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี



ภาพผนวกที่ ค2 บริเวณหลุมฝังกลบ อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี



ภาพผนวกที่ ค3 Chamber เก็บตัวอย่างก๊าซ



ภาพผนวกที่ ค4 ด้านบนของ Chamber เก็บตัวอย่างก๊าซ

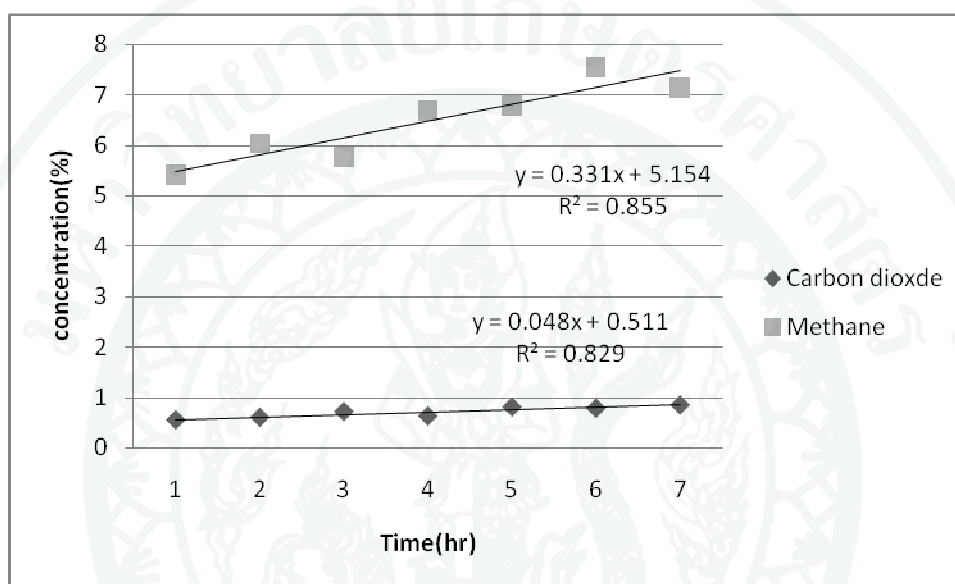


ภาพผนวกที่ ค5 พืชต่างที่ทำการทดสอบ(กระถาง)



การวัดอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านชั้นดินกลบ
ทับโดยวิธี Close Flux Chamber

การคำนวณอัตราการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้สมการที่(1)
และเส้น Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับเวลา



ภาพผนวกที่ ๑1 ตัวอย่างกราฟเส้น Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับเวลา

$$F = \frac{\rho V \Delta C}{A \Delta t} \quad (๑1)$$

อุณหภูมิใน Chamber เท่ากับ 38 oC

ความหนาแน่นของอากาศ(Air Density) ที่อุณหภูมิ 38 C = 1.13 kg/m³

ความถ่วงจำเพาะของก๊าซมีเทน(Specific gravity) = 0.55

$$\begin{aligned} \rho_{CH4} &= 0.55 \times 1.13 \\ &= 0.621 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ความถ่วงจำเพาะของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Specific gravity) = 1.5

$$\begin{aligned} \rho_{CO2} &= 1.5 \times 1.13 \\ &= 1.69 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

V = ปริมาตรของ Chamber = 0.02133 m^3

A = พื้นที่ที่ Chamber ปิดล้อม = 0.0711 m^2

ΔC = ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง(%) v/v

Δt = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง(Hour)

$\Delta C / \Delta t$ = ความชันของเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซกับเวลา

$$F_{\text{CH}_4} = (0.621 \text{ kg/m}^3) \times (0.02133 \text{ m}^3) \times (0.331 \%/\text{hr}) \times (1000/100) / (0.0711 \text{ m}^2)$$

$$= 0.617 \text{ g/ m}^2 \cdot \text{hr}$$

$$= 14.81 \text{ g/ m}^2 \cdot \text{d}$$

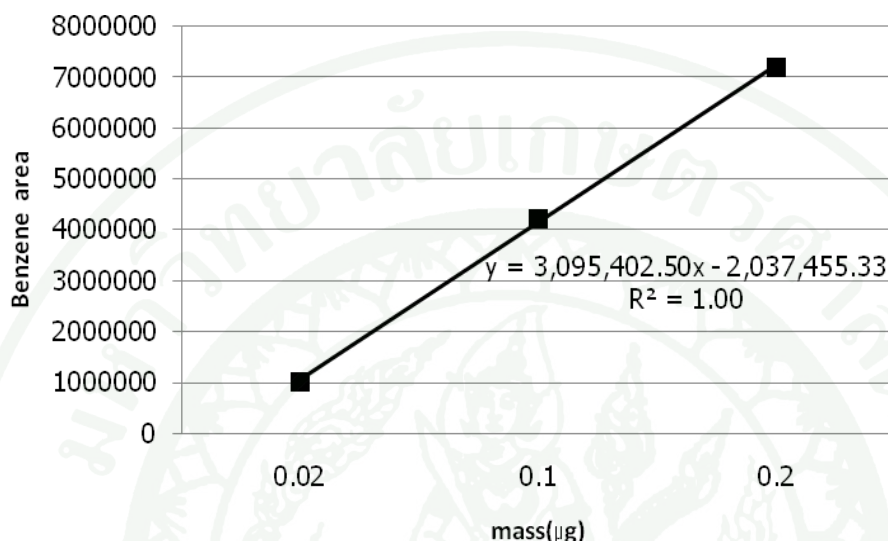
$$F_{\text{CO}_2} = (1.69 \text{ kg/m}^3) \times (0.02133 \text{ m}^3) \times (0.048 \%/\text{hr}) \times (1000/100) / (0.0711 \text{ m}^2)$$

$$= 0.243 \text{ g/ m}^2 \cdot \text{hr}$$

$$= 5.84 \text{ g/ m}^2 \cdot \text{d}$$

การหาความเข้มข้นและอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหย

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยจากสมการดังต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ ๒ ตัวอย่างกราฟเส้นมาตรฐานของเบนซีน

การคำนวณหาความเข้มข้นในตัวอย่างอากาศ หามวลสารอินทรีย์ระเหยแต่ละตัวอย่างในของเหลวที่สกัดได้ โดยใช้สมการจากกราฟ(ภาพผนวกที่ ๒) แล้วนำมาหาความเข้มข้นของสารด้วยสมการนี้

$$C = \frac{(Wf + Wb - Bf - Bb)}{V} * f \quad (๑๒)$$

เมื่อ C = ปริมาณความเข้มข้นสารในอากาศ, μg/L

Wf = ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่สกัดได้จากหลอดส่วนหน้า, mg

Wb = ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่สกัดได้จากหลอดส่วนหลัง, mg

Bf = ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่สกัดได้จากหลอด Blank ส่วนหน้า, mg

Bb = ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่สกัดได้จากหลอด Blank ส่วนหลัง, mg

V = ปริมาตรของอากาศที่เก็บผ่านหลอดเก็บตัวอย่าง, L

f = ค่า factor

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหย โดยเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ปั๊มอากาศที่มีอัตรา 30 มิลลิลิตรต่อนาที ใน 1 ชั่วโมงสามารถดูดอากาศได้ 1.8 ลิตร สกัดสารอินทรีย์ระเหยด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์ 1 มิลลิลิตร นิดตัวอย่างสารสกัดสารอินทรีย์ระเหย 0.5 ไมโครลิตร ในเครื่อง GCMS พบสารเบนซีน พื้นที่ 4.5 ล้าน จะได้ว่า

หาความเข้มข้นของเบนซีน พบว่า เมื่อดูจากกราฟมาตรฐานของเบนซีน พื้นที่ตัวอย่าง 4.5 ล้าน มีปริมาณของเบนซีน 0.1 ไมโครกรัม

ตัวอย่างสารละลาย 0.5 ไมโครลิตร พบปริมาณของเบนซีน 0.1 ไมโครกรัม

จะได้ว่า ความเข้มข้นเบนซีน = 0.1 ไมโครกรัม/ 0.5 ไมโครลิตร

= 0.20 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร

ปริมาณเบนซีนในสารละลาย = 0.20 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร x 1000 ไมโครลิตร

= 200 ไมโครกรัม

สารที่สกัดในอากาศ 1.8 ลิตร = 200 ไมโครกรัม/ 1.8 ลิตร

ดังนั้น ความเข้มข้นของเบนซีนในกล่อง = 111.11 ไมโครกรัมต่อลิตร(อากาศ)

จะได้ว่า อัตราการแพร่กระจายของVOCs = $\frac{\text{ความเข้มข้นของVOCs} \times \text{ปริมาตรกล่อง}}{\text{เวลา} \times \text{พื้นที่หน้าตัดกล่อง}}$

= $\frac{111.11 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร} \times 21.33 \text{ ลิตร}}{1 \text{ ชั่วโมง}}$

1 ชั่วโมง

= 2369.9 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง

= $\frac{13.33 \text{ มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน}}{0.0711 \text{ ตารางเมตร}}$

0.0711 ตารางเมตร

= 33,333 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

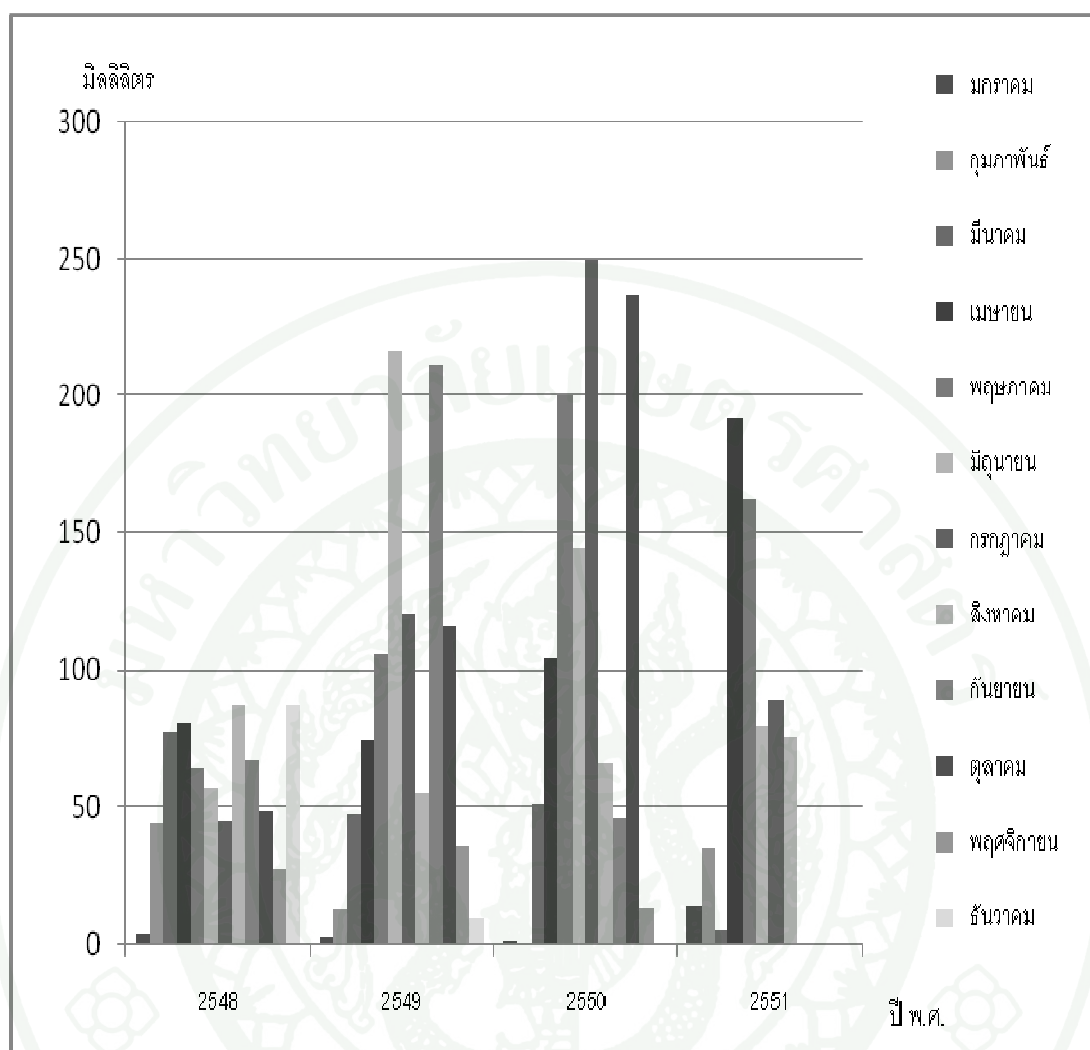
= 799.99 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน



ตารางผนวกที่ จ1 อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด ของจังหวัดนนทบุรี ระหว่างปี พ.ศ.2548 – 2551

ปี พ.ศ.	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				
	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ
		สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
<u>2548</u>	29.8	33.8	25.9	36.7	22.7
<u>2549</u>	29.5	33.6	26	35.9	23
<u>2550</u>	28.9	33.2	25.7	35.7	22.4
<u>2551</u>	21.5	24.8	19.3	26.5	17.2

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพผนวกที่ ๑ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแต่ละเดือนของจังหวัดนนทบุรี ปี พ.ศ.2548 – 2551

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา หมายเหตุ: เดือนกันยายน – ธันวาคม 2551 ยังไม่มีรายงานข้อมูล

ตารางผนวกที่ จ2 ปริมาณน้ำฝนในอำเภอไทยน้อย จังหวัดนนทบุรี

สถานี	เดือน/ปี	วันที่														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
อำเภอไทยน้อย จ.นนทบุรี	ม.ค.-08	0	0	0	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ก.พ.-08	0	0	9.6	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	T	T	0
	มี.ค.-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	พ.ค.-08	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	3.9	39	T	6.7	0
	มิ.ย.-08	3.4	0	0	33	0	6.7	0	0	0	0	47	5.4	0	T	T
	ก.ค.-08	19	8.7	0	0	0	21	0	0	4.4	0	0	0	0	0	20
	ส.ค.-08	42	0	0	0	T	0	T	0	T	0	12	3.4	0	0	0
	ก.ย.-08	0	2.7	0	0	8	18	25	2.7	3.1	7.7	19	3.4	5.4	0	5.6
	ต.ค.-08	T	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0
	พ.ย.-08	14	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ธ.ค.-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ม.ค.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ก.พ.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	มี.ค.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	เม.ย.-09	0	0	0	T	0	15	0	0	0	0	T	T	0	0	0
	พ.ค.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	7.1	4.7	19	43	8.1
	มิ.ย.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0	0	4.5	4.5	0	18
	ก.ค.-09	0	0	0	0	4	12	T	0	0	0	0	0	T	0	0
	ส.ค.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	T

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

สถานี	เดือน/ปี	วันที่																รวม
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
อำเภอไทรน้อย	ม.ค.-08	0	0	0	42	0	0	3.9	4.4	38	9.9	T	23	T	59	0	0	180.5
จ.นนทบุรี	ก.พ.-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	-	-	25.1
	มี.ค.-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6	5.6
	พ.ค.-08	0	0	0	6.4	7.6	6.3	46	0	11	0	0	0	T	30	T	T	162.5
	มิ.ย.-08	17	13	15	21	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	161.6
	ก.ค.-08	T	26	0	19	0	4.1	T	0	0	9.8	T	0	0	0	0	0	132.4
	ส.ค.-08	0	0	0	0	7.8	46	0	0	0	0	0	4.2	T	0	0	0	115
	ก.ย.-08	2.8	0	37	1.7	0	0	0	0	0	0	0	2.2	4.8	0	1.8	-	150.6
	ต.ค.-08	0	0	16	25	T	0	0	0	12	2.2	27	T	T	15	8.3	6.1	139.8
	พ.ย.-08	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	13.8
	ธ.ค.-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	ม.ค.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	ก.พ.-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	มี.ค.-09	0	0	48	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	7.4	26	80.9
	เม.ย.-09	0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	38	3.2	0	0	-	55.9
	พ.ค.-09	4.4	6.5	30	T	0	0	0	0	T	7.2	9.8	0	0	12	5.8	0	157.2
	มิ.ย.-09	0	0	4.6	0	0	0	0	12	0	18	0	4.8	12	46	T	-	123.1
	ก.ค.-09	0	0	0	T	T	3.7	46	30	6.9	0	0	0	7.5	0	0	0	109.7
	ส.ค.-09	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	18	4.3	9.2	T	17	T	103.9

ตารางผนวกที่ ๓ ค่าสถิติ t-test ที่ความเชื่อมั่น 95%

อัตราการแพร่ก๊าซชีวภาพ	ค่า P	อัตราการแพร่สารอินทรีย์ระเหย	ค่า P	ความเข้มข้นก๊าซชีวภาพใน บรรยากาศ	ค่า P	การทำลายดีเอ็นเอพืช(พืสด่าง)	ค่า P
CO ₂ OP Dry + CO ₂ OP Rain	0.176	VOCs OP Dry+VOCsOP Rain	0.314	CO ₂ OP Dry + CO ₂ OP Rain	0.013	OP Dry + OP Rain	0.0001
CO ₂ LF Dry + CO ₂ LF Rain	0.107	VOCsLF Dry+VOCsLF Rain	0.402	CO ₂ LF Dry + CO ₂ LF Rain	0.003	LF Dry + LF Rain	0.0003
CO ₂ OP Dry + CO ₂ LF Dry	0.015	VOCsOP Dry +VOCsLF Dry	0.002	CO ₂ OP Dry + CO ₂ LF Dry	0.0001	OP Dry + LF Dry	0.001
CO ₂ OP Rain + CO ₂ LF Rain	0.001	VOCsOP Rain +VOCsLF Rain	0.006	CO ₂ OP Rain + CO ₂ LF Rain	0.0001	OP Rain + LF Rain	0.001
CH ₄ OP Dry +CH ₄ OP Rain	0.067	-	-	CH ₄ OP Dry +CH ₄ OP Rain	0.081	Con0OP Dry +Con0OP Rain	0.003
CH ₄ LF Dry +CH ₄ LF Rain	0.078	-	-	CH ₄ LF Dry +CH ₄ LF Rain	0.009	Con0LF Dry + Con0LF Rain	0.005
CH ₄ OP Dry +CH ₄ LF Dry	0.0001	-	-	CH ₄ OP Dry +CH ₄ LF Dry	0.001	Con96OP Dry +Con96OP Rain	0.015
CH ₄ OP Rain +CH ₄ LF Rain	0.003	-	-	CH ₄ OP Rain +CH ₄ LF Rain	0.003	Con96LF Dry + Con96LF Rain	0.001
-	-	-	-	-	-	Con0OP Dry +Con96OP Dry	0.004
-	-	-	-	-	-	Con0LF Rain+ Con96LF Rain	0.003
-	-	-	-	-	-	Con96OP Dry +OP Dry	0.0001
-	-	-	-	-	-	Con96LF Rain+ LF Rain	0.0001
-	-	-	-	-	-	Con96OP Rain +OP Rain	0.0003
-	-	-	-	-	-	Con96LF Dry+ LF Dry	0.0001

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุดารัตน์ ภูคำอู
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 9 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-