



วิทยานิพนธ์

การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหย และกลิ่น
จากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน

EVALUATION OF METHANE, VOLATILE ORGANIC
COMPOUNDS AND ODOUR EMISSION
FROM MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL SITE

นายสรยุทธ ธีรโพธิ์รักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหย และกลิ่นจากสถานที่กำจัด
มูลฝอยชุมชน

Evaluation of Methane, Volatile Organic Compounds and Odour Emission from
Municipal Solid Waste Disposal Site

نامผู้วิจัย นายสรรสฤษฎ์ เชียรโพธิ์ภักษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิไล เจียมไชยศรี, D.Tech.Sci.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหย และกลิ่น
จากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน

Evaluation of Methane, Volatile Organic Compounds and Odour Emission
from Municipal Solid Waste Disposal Site

โดย

นายสรยุทธ ธีรโพธิ์ภิรักษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

สรรพยุทธ์ เชียรโพธิ์ภักษ์ 2551: การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน
สารอินทรีย์ระเหย และกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng.
180 หน้า

การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จาก
กองมูลฝอยใหม่ของสถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี บนพื้นผิวมูลฝอย
แบบเทกองกลางแจ้งและบนพื้นผิวดินมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ พบว่าบนพื้นผิวดินในฤดูฝน
มีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนเฉลี่ย $53.51 \text{ g/m}^2\text{-d}$ สูงกว่าบนพื้นผิวดินในฤดูแล้งที่มีค่าเฉลี่ย
 $20.87 \text{ g/m}^2\text{-d}$ และสูงกว่าบนพื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแจ้งทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งที่มีค่าเฉลี่ย
 $5.23 \text{ g/m}^2\text{-d}$ และ $3.99 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ตามลำดับ สำหรับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ได้แก่ เบนซีน
โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน พบอัตราการแพร่กระจายสูงที่สุดบนพื้นผิวดินในฤดูแล้ง โดยมี
ค่าเฉลี่ย 7.11×10^{-2} , 9.76×10^{-2} , 4.8×10^{-2} และ $7.62 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพื้นผิวดินใน
ฤดูฝนและพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง

การทำนายการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ด้วย
แบบจำลอง AERMOD และ ISCST พบว่าแบบจำลองทั้งสองให้ค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมี
นัยสำคัญ โดยแบบจำลอง AERMOD ให้ผลใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากกว่าแบบจำลอง
ISCST ซึ่งผลการทำนายความเข้มข้นจากแบบจำลอง เมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงพบว่ามีความ
ความเสี่ยงอันตรายในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤต จึงยังไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานและ
ชุมชนโดยรอบ

การประเมินการแพร่กระจายของกลิ่นโดยการตรวจวัดร่วมกับแบบจำลอง พบว่ามีโอกาส
เกิดปัญหากลิ่นรบกวนชุมชนโดยรอบได้ โดยมีระยะทางเฉลี่ยจากแนวขอบสถานที่กำจัดมูลฝอย
ที่จะได้กลิ่นไม่เกินระดับที่เริ่มก่อความรำคาญที่อัตราส่วนการเจือจาง 30 เท่า เป็นระยะทางเฉลี่ย
940 เมตร และไม่เกินระดับที่ได้กลิ่นที่อัตราส่วนการเจือจาง 15 เท่าเป็นระยะทางเฉลี่ย 1,600 เมตร

Sansarith Thianpirug 2008: Evaluation of Methane, Volatile Organic Compounds and Odour Emission from Municipal Solid Waste Disposal Site. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 180 pages.

The measurement of methane and volatile organic compounds (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene: BTEX) emission from new waste piles at Nonthaburi solid waste disposal site with and without soil cover were conducted. Highest average methane emission rate was found to be $53.51 \text{ g/m}^2\text{-d}$ from waste pile with soil cover under rainy season. This rate was higher than $20.87 \text{ g/m}^2\text{-d}$ detected under dry season and $5.23 \text{ g/m}^2\text{-d}$ and $3.99 \text{ g/m}^2\text{-d}$ on the surface of open dump waste pile under rainy and dry seasons respectively. The emission of BTEX compounds were found highest from the waste pile with cover soil under dry season at 7.11×10^{-2} , 9.76×10^{-2} , 4.80×10^{-2} and $7.62 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{-d}$. These rates were higher than under rainy season and open dump waste pile.

The dispersion of methane and BTEX in ambient air was modeled by AERMOD and ISCST. It was found that both models gave the results having significant difference from each other. The AERMOD model provide more accurate results as determined by coefficient of determination and root mean square error. The risk of BTEX compounds to workers and nearby communities was found at low level as suggested by hazardous index less than critical level.

The dispersion of odour from solid waste disposal site was also studied using field olfactometer and the models. The result show that the dispersion of odour compounds were 940 metres from the disposal site boundary where level of 30 dilution-to-threshold (D/T) and 1,600 metres until a D/T level of 15 was reached.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชาติ เจริมไชยศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วิไล เจริมไชยศรี กรรมการที่ปรึกษา วิชาเอก รศ.ดร. เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และรศ.ดร. นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนตรวจและแก้ไขจนสำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะผู้ที่เป็นผู้บังคับบัญชาในสายงาน ซึ่งได้แก่ คุณยุทธชัย อนุรักษ์พันธ์ นักวิชาการเกษตร 8ว กรมพัฒนาที่ดิน คุณบุญณรงค์ ธานีรัตน์ ผู้อำนวยการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ คุณสายหยุด เพ็ชรสุข หัวหน้ากลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 12 กรมพัฒนาที่ดิน และคุณพรศักดิ์ จีระสุวรรณ ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ ซึ่งได้ให้โอกาสและสนับสนุนในการศึกษา นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ คุณชนพล เกษมศรีธนาวัฒน์ และคุณเอกพล เอกอัครรุ่งโรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยเฉพาะการตรวจวัดกลิ่น รวมไปถึงต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการศึกษา

สุดท้ายผู้วิจัยต้องขอขอบคุณบุคคลในครอบครัวทั้งพ่อ แม่ พี่ และน้อง ตลอดไปจนถึง คุณสิราภรณ์ อุ่นเสรี ซึ่งบุคคลเหล่านี้ล้วนเป็นกำลังใจและถามไถ่ใส่ใจในการศึกษามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สรรสฤษฎ์ เขียรโพธิ์ภักษ์

กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	60
อุปกรณ์	60
วิธีการ	64
ผลและวิจารณ์	75
สรุปและข้อเสนอแนะ	135
สรุป	135
ข้อเสนอแนะ	137
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	138
ภาคผนวก	146
ภาคผนวก ก ภาพการศึกษา	147
ภาคผนวก ข ผลการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูล	151
ภาคผนวก ค ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลอง	166
ภาคผนวก ง แผนที่เส้นความเข้มข้นเท่า	170

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของก๊าซจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยโดยทั่วไป	6
2 กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหย	12
3 สารอินทรีย์ระเหยที่แพร่กระจายจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน	13
4 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX	14
5 ค่าครึ่งชีวิตของเบนซีนในสิ่งแวดล้อม	15
6 ความเป็นพิษของเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	16
7 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของโทลูอิน	17
8 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของโทลูอิน	18
9 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของไซลีน	19
10 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการดูดซับตัวอย่าง	22
11 คุณสมบัติด้านกลั่นและความเข้มข้นที่ทำให้เริ่มได้กลั่นของสารประกอบ บางประเภท	25
12 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของกลั่นตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	28
13 ค่า Wind Profile Exponent (p) ตามความคงตัวของบรรยากาศ	37
14 การจำแนกความคงตัวของบรรยากาศแบบ Pasquill-Gifford	38
15 สมการการแพร่กระจายในแนวระดับสำหรับพื้นที่เขตเมือง และค่าพารามิเตอร์ c และ d ที่ใช้ในการคำนวณค่า σ_y สำหรับการแพร่กระจายในแนวระดับ	41
16 ค่าพารามิเตอร์ a และ b ที่ใช้ในการคำนวณค่า σ_z สำหรับการแพร่กระจาย ในแนวดิ่ง	42
17 การเปรียบเทียบค่าความคงตัวของบรรยากาศโดยวิธี Monin-Obukhov Length และวิธีของ Pasquill-Gifford	49
18 ค่า Albedo, Bowen ratio และ Surface roughness length ที่แนะนำสำหรับใช้เป็น ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง AERMOD	51
19 ค่า Reference dose ของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX	54
20 การจำแนกระดับการเป็นสารก่อมะเร็ง	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
21 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้งผ่านหน้าดิน กลบทับชนิดต่าง ๆ	58
22 อัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยเทกอง กลางแจ้งที่ระดับความลึก 1–4 เมตร	58
23 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง Unit D/T กับ Geometric D/T ของเครื่องวัดกลิ่น Nasal Ranger Field Olfactometer	73
24 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX บนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	77
25 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX บนพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูแล้งและฤดูฝน	78
26 การเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากพื้นผิวมูลฝอยและพื้นผิวดินในฤดูแล้งและฤดูฝน	79
27 ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ	82
28 สรุปอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยเก่าและกองมูลฝอยใหม่ในฤดูกาลที่แตกต่างกัน	84
29 ขนาดพื้นที่ของสภาพการใช้ที่ดินในรัศมีโดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย	92
30 สภาพการใช้ที่ดินในบริเวณที่ความเข้มข้นปรับเทียบของก๊าซมีเทนและเบนซีน มีค่ามากกว่า 1 เปรียบเทียบระหว่างปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550 จากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST	103
31 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง AERMOD และ ISCST โดยใช้ ค่าความเข้มข้นจากการตรวจวัดของเบนซีน โทลูอิน และไซลีน	106
32 การปรับเทียบแบบจำลอง AERMOD	108
33 การเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในปี พ.ศ. 2550	111
34 ระดับความเสี่ยงจากการทำงานเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานด้านสภาพ ความปลอดภัยจากสารเคมีในบรรยากาศในสถานที่ทำงาน	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
35 สมการถดถอยอย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST กับการตรวจวัดกลิ่นจริง	124
36 ระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยที่จะได้รับผลกระทบจากกลิ่นไม่เกินอัตราส่วนเจือจาง 30 เท่า และ 15 เท่า	132
37 จำนวนสิ่งปลูกสร้างที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากกลิ่น เปรียบเทียบระหว่างปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550	134
ตารางผนวกที่	
ข1 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กบนพื้นผิวดินในฤดูแล้ง	152
ข2 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กบนพื้นผิวมูลฝอยในฤดูแล้ง	153
ข3 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กบนพื้นผิวดินในฤดูฝน	154
ข4 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กบนพื้นผิวมูลฝอยในฤดูฝน	155
ข5 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากอุปกรณ์ครอบปลั๊ก	157
ข6 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550	158
ข7 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง ISCST ในปี พ.ศ. 2550	159
ข8 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2548	160
ข9 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง ISCST ในปี พ.ศ. 2548	161
ข10 ค่าสถิติทดสอบประชากรแบบจับคู่ทดสอบความแตกต่างของแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในปี พ.ศ. 2550	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข11 ค่าเปรียบเทียบความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากการตรวจวัด เปรียบเทียบกับแบบจำลอง AERMOD และ ISCST	163
ข12 ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยจากการตรวจวัดกลิ่นในแต่ละช่วงเวลา ในปี พ.ศ. 2548-2550	164

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	7
2	10
3	26
4	30
5	32
6	36
7	46
8	48
9	52
10	59
11	60
12	61
13	63
14	65
15	66
16	66
17	70
18	74
19	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากพื้นผิว มูลฝอยเทกองกลางแจ้งและพื้นผิวดินกลบทับในช่วงเวลาต่าง ๆ	85
21	ข้อมูลอุณหภูมิรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550	87
22	ข้อมูลปริมาณการปกคลุมของเมฆรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550	87
23	ข้อมูลทิศทางลมรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550	88
24	ข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550	88
25	ผังลมรายปีจากข้อมูลลมของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง ปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550	89
26	ผังลมรายเดือนจากข้อมูลลมของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง ปี พ.ศ. 2550	90
27	สภาพการใช้ที่ดินบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี	92
28	เส้นความเข้มข้นเท่าของก๊าซมีเทนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรวมรายปี จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550	95
29	ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง	96
30	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง	97
31	ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปีของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง	98
32	เส้นความเข้มข้นเท่าเปรียบเทียบเฉลี่ยรายเดือนของก๊าซมีเทนจากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550	100
33	เส้นความเข้มข้นเท่าเปรียบเทียบเฉลี่ยรายเดือนของเบนซีนจากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550	101
34	เส้นความเข้มข้นเท่าเปรียบเทียบเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดของก๊าซมีเทนและเบนซีน จากแบบจำลอง AERMOD เปรียบเทียบในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550	104
35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอิน และไซลีน จากการตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละ Normalized root mean square error ของแบบจำลอง ISCST เปรียบเทียบโดยใช้แบบจำลอง AERMOD เป็นตัวเปรียบเทียบ	110
37	การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านตำแหน่งของมลพิษที่ตกลงสู่พื้นที่จากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่ารายชั่วโมงสูงสุด	113
38	การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านตำแหน่งของมลพิษที่ตกลงสู่พื้นที่จากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด	114
39	การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านตำแหน่งของมลพิษที่ตกลงสู่พื้นที่จากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด	115
40	ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายรวมจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กรณีใช้การประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด	117
41	ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายรวมจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กรณีใช้การประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี	118
42	แผนที่เส้นระดับดัชนีความเสี่ยงเท่าของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กรณีประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรวมรายปีจากแบบจำลอง AERMOD	119
43	ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยของกลิ่นที่จุดตรวจวัดรายชั่วโมงในฤดูแล้งปี พ.ศ. 2550	121
44	ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยของกลิ่นที่จุดตรวจวัดรายชั่วโมงในฤดูฝนปี พ.ศ. 2550	122
45	ค่า D/T ของกลิ่นจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในฤดูแล้งปี พ.ศ. 2550	125
46	ค่า D/T ของกลิ่นจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2550	126
47	เส้นระดับ D/T ของกลิ่นเท่าจากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550	127
48	เส้นระดับ D/T ของกลิ่นเท่าจากแบบจำลอง ISCST ในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	ค่า D/T ของกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดในปี พ.ศ. 2548-2550	129
50	ค่า D/T ของกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดรายเดือนจากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550	130
51	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดจากแบบจำลอง AERMOD กับระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยในปี พ.ศ. 2550	133
ภาพผนวกที่		
ก1	สภาพพื้นที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี	148
ก2	บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศและตรวจวัดกลิ่นรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย	149
ก3	การเก็บตัวอย่างก๊าซและกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอย	150
ข1	ความสัมพันธ์ของระดับกลิ่นระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากการตรวจวัดจริง ในปี พ.ศ. 2548-2550	165
ค1	ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิตามวิธีในแบบ SCRAM สำหรับนำเข้าสู่โปรแกรม AERMET และ โปรแกรม PCRAMMET	167
ค2	ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิตามวิธีระดับบนในแบบ FSL สำหรับนำเข้าสู่โปรแกรม AERMET และ โปรแกรม MIXHTS	167
ค3	ตัวอย่างข้อมูลความสูงผสมจากโปรแกรม MIXHTS เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม PCRAMMET	168
ค4	ตำแหน่งจุดรับมลพิษที่กำหนดเพื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง	168
ค5	ตัวอย่างข้อมูลควบคุมแบบจำลอง AERMOD เพื่อนำเข้าคำนวณความเข้มข้น	169
ง1	อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน	171
ง2	อัตราการแพร่กระจายเบนซีนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน	172
ง3	อัตราการแพร่กระจายโทลูอีนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน	173
ง4	อัตราการแพร่กระจายเอทิลเบนซีนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน	174
ง5	อัตราการแพร่กระจายไซลีนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน	175

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง6	เส้นความเข้มข้นเท่าของเบนซีนจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550
ง7	เส้นความเข้มข้นเท่าของโทลูอินจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550
ง8	เส้นความเข้มข้นเท่าของเอทิลเบนซีนจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550
ง9	เส้นความเข้มข้นเท่าของไซลีนจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ACGIH	=	American Conference of Industrial Hygienists
AERMAP	=	AERMIC Terrain Preprocessor
AERMET	=	AERMIC Meteorological Preprocessor
AERMIC	=	AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee
AERMOD	=	AMS/EPA Regulatory Model
AMS	=	American Meteorological Society
BTEX	=	Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene
D/T	=	Dilution-to-Threshold
D/T _{Geo}	=	Geometric Dilution-to-Threshold
ECD	=	Electron Capture detector
FID	=	Flame Ionization Detector
GC	=	Gas Chromatography
ISC3	=	Industrial Source Complex 3
ISCST	=	Industrial Source Complex Short Term
LFG	=	Landfill gas
MSW	=	Municipal Solid Waste
NIOSH	=	National Institute for Occupational Safety and Health
NRMSE	=	Normalized root mean square error
OSHA	=	Occupational Safety and Health Association
RMSE	=	Root mean square error
U.S. EPA	=	United State Environmental Protection Agency
VOCs	=	Volatile Organic Compounds
WHO	=	World Health Organization

การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหย และกลิ่น จากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน

Evaluation of Methane, Volatile Organic Compounds and Odour Emission from Municipal Solid Waste Disposal Site

คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม ประชากรมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีมาตรฐานการครองชีพสูงขึ้น ตลอดจนมีการรับเอาเทคโนโลยีการผลิตใหม่ ๆ มาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น จึงทำให้มีวัสดุเหลือจากการบริโภคซึ่งกลายสภาพเป็นมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งวิธีการกำจัดมูลฝอยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น นำไปกองทิ้งบนพื้นดิน (Dumping on land) ทิ้งลงทะเล (Dumping at sea) การหมักทำปุ๋ย (Composting) ทิ้งลงในท่อระบายน้ำเสีย (Discharge to the sewer) การเผากลางแจ้ง (Open burning) การเผาในเตาเผา (Incineration) และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) แต่การกำจัดมูลฝอยที่เหมาะสมมีอยู่ 3 วิธี คือ การเผา การหมักทำปุ๋ย และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

การกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นของชุมชนเทศบาลต่าง ๆ ในประเทศไทยตามที่ได้มีการศึกษารวบรวม พบว่าส่วนใหญ่ใช้วิธีกำจัดโดยการเทกองกลางแจ้ง (Open dump) ร้อยละ 52 ฝังในหลุมที่มีดินกลบเป็นครั้งคราว (Non engineered landfill) ร้อยละ 37 ส่วนการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) มีเพียงร้อยละ 11 โดยเป็นการสำรวจจากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน 114 แห่ง ทั้งในเขตปริมณฑลและในเขตภูมิภาคโดยใช้แบบสอบถาม รวมพื้นที่ประมาณ 2,800 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 78 ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศไทย แบ่งเป็นพื้นที่กำจัดมูลฝอยขนาดเล็กกว่า 50 ไร่ ร้อยละ 53 ขนาด 50–100 ไร่ ร้อยละ 24 ขนาด 100–200 ไร่ ร้อยละ 18 และขนาดใหญ่กว่า 200 ไร่ ร้อยละ 5 (Scott *et al.*, 2000)

ผลกระทบหลักจากสถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน เป็นผลมาจากกระบวนการย่อยสลายของมูลฝอยและการปนเปื้อนของสารพิษที่ติดมากับตัวมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินจากน้ำชะมูลฝอย รวมทั้งมลพิษทางอากาศจากการแพร่กระจายก๊าซจากหลุมฝังกลบ ซึ่งมีทั้งก๊าซที่ไม่มีกลิ่นและก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นแพร่กระจายอีกหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

และก๊าซจากกลุ่มสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) นับเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงานในสถานที่กำจัดมูลฝอยและชุมชนใกล้เคียง (อรอนงค์, 2541)

ก๊าซที่แพร่กระจายจากหลุมฝังกลบ (Landfill gas) เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบ ขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายจะได้ก๊าซมีเทน (Methane: CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO_2) จำนวนมากแพร่สู่บรรยากาศโดยมีสัดส่วนร้อยละ 45-60 และ ร้อยละ 40-50 ตามลำดับ ปริมาณการแพร่กระจายก๊าซมีเทนของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2541 ประเมินตามหลักเกณฑ์ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) พบว่ามีปริมาณรวม 3.79 ล้านตัน มาจากเกษตรกรรมมากที่สุด 2.70 ล้านตัน ในขณะที่มาจากหลุมฝังกลบมูลฝอย 0.67 ล้านตัน นอกจากก๊าซมีเทนแล้วยังพบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยอีกด้วย ซึ่งมีการศึกษาพบสารอินทรีย์ระเหยมากกว่า 140 ชนิดแพร่กระจายจากหลุมฝังกลบมูลฝอย 7 แห่งในประเทศอังกฤษ และคาดว่าจะมีการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยประมาณ 10 ตันต่อปี กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหย ที่พบจากหลุมฝังกลบโดยทั่วไปได้แก่ Chlorinated hydrocarbon, Aromatic hydrocarbon, Halogenated compounds, Alkanes, Cycloalkanes, Alcohols และ Ketones เป็นต้น (Kjeldsen and Fischer, 1995; Allen *et al.*, 1997) ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ระเหยจากหลุมฝังกลบแม้ว่าจะน้อยกว่าร้อยละ 1 ของก๊าซทั้งหมดจากหลุมฝังกลบมูลฝอย แต่มีความคงทนต่อการย่อยสลายรวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารอินทรีย์ระเหยเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และส่วนใหญ่ยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งในคนและสัตว์

การประเมินปัญหามลพิษทางอากาศจากก๊าซที่เล็ดลอดที่สุดคือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศด้วยเครื่องมือทางฟิสิกส์หรือทางเคมี (แสงสันต์, 2545) แต่ในความเป็นจริงการตรวจวัดจริงทำได้ในขอบเขตจำกัดในแง่ของเวลาในการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง สภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการตรวจวัด เครื่องมือและต้นทุนในการตรวจวัดมีราคาแพง จึงมีการพัฒนาวิธีการประเมินการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย แบบจำลองเพื่อทำนายความเข้มข้นสารมลพิษในอากาศส่วนใหญ่มักพัฒนาขึ้นมาใช้ในปัจจุบัน พัฒนามาจากองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) จากในอดีตแบบจำลองการแพร่กระจายมีพื้นฐานที่ใช้ข้อมูลจากการทดลองซึ่งเมื่อนำไปใช้ในพื้นที่ต่างกันจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน จนในปัจจุบันการพัฒนาแบบจำลองได้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของกระบวนการทางฟิสิกส์ของบรรยากาศซึ่งสามารถนำไปใช้อธิบายได้ในทุกสภาพพื้นที่

การศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วยการศึกษาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่แพร่กระจายจากพื้นผิวมูลฝอยของกองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งและอัตราการแพร่กระจายบนพื้นผิวดินของกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับภายใต้ฤดูแล้งและฤดูฝนแล้วประเมินการแพร่กระจายด้วยแบบจำลองเพื่อทำนายความเข้มข้นสารมลพิษในอากาศ โดยใช้แบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ U.S. EPA แนะนำให้ใช้ตามข้อกำหนดใน 40 CFR Part 51 Appendix W (U.S. EPA, 2005) โดยมีการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสองและทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองแล้วทำการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่ทำงานอยู่ในสถานที่กำจัดมูลฝอยและผู้ที่อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบ ตลอดจนการศึกษาการแพร่กระจายของกลิ่นในบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยและพื้นที่ใกล้เคียงด้วยเครื่องมือตรวจวัดระดับกลิ่นภาคสนามเพื่อประเมินสภาพปัญหาด้านกลิ่นรบกวนที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราการแพร่ระเหยและระดับการแพร่กระจายสู่บรรยากาศของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่แพร่ระเหยจากสถานที่กำจัดมูลฝอยโดยการตรวจวัดจริงร่วมกับการใช้แบบจำลอง
2. ศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลและหน้าดินกลบทับที่มีต่ออัตราการแพร่ระเหย และระดับการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากสถานที่กำจัดมูลฝอย
3. ศึกษาการแพร่กระจายของกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอย

การตรวจเอกสาร

1. กำแพงจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

1.1 วิธีการกำจัดมูลฝอย

การจัดมูลฝอยมีหลายรูปแบบ เช่น นำไปกองทิ้งบนพื้นดิน ทิ้งลงทะเล หมักทำปุ๋ย
ทิ้งลงในท่อระบายน้ำเสีย เผากลางแจ้ง เผาในเตาเผา และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล แต่
วิธีการที่จัดว่าเหมาะสมมี 3 วิธีคือ การเผา การหมักทำปุ๋ย และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล
ในประเทศไทยการจัดมูลฝอยที่นิยมใช้คือการฝังกลบมูลฝอย เนื่องจากมีต้นทุนและค่าบำรุงรักษา
ที่ต่ำกว่าวิธีการอื่น จากการสำรวจวิธีการฝังกลบมูลฝอยในประเทศไทย สามารถแบ่งได้เป็นการฝัง
กลบแบบสุขาภิบาล เทกองกลางแจ้ง และการฝังกลบเป็นครั้งคราว

1.2 องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอย

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอยจะประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดถึงร้อยละ 45-60 และ 40-50 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบก๊าซที่มีปริมาณน้อยที่ไม่ใช่สารประกอบอินทรีย์มีเทน (Non-methane organic compound: NMOC) มากกว่า 100 ชนิด เช่น อีเทน, โทลูอิน, เบนซีน และก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นอีกหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 1

Bounicor and Wayne (1992) ได้รวบรวมก๊าซที่แพร่กระจายจากการฝังกลบมูลฝอยพบว่า ประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน ไฮโดรเจนคลอไรด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ เมทิลเมอร์แคปแทน เมทิลซัลไฟด์ เมทิลไธไซลไฟด์ ไตรเมทิลเอมีน อเซตาลดีไฮด์ โทลูอิน ไซลีน สไตรีน เป็นต้น

อรอนงค์ (2541) ได้กล่าวถึงก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยว่าเกิดจากการบูดเน่าของเศษอาหารจากบ้านเรือนและภัตตาคาร ซึ่งมีทั้งโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไป แล้วจึงค่อย ๆ ย่อยสลายเศษมูลฝอยจากตลาดสด ซึ่งอาจเป็นเศษผักหรือผลไม้ ใบตองและกระด้างซึ่งย่อยสลายยากกว่า โดยเป็นการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ใน

สภาวะไร้ออกซิเจนและมีการแพร่ระบายกลิ่นออกมา สิ่งเหล่านี้คือก๊าซเสียชนิดต่าง ๆ ที่เกิดจากการบูดเน่าโดยตรง และจากการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ชนิดที่ระเหยได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนจากแสงแดดหรือความร้อนจากการหมักของมูลฝอยเอง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยโดยทั่วไป

องค์ประกอบของก๊าซ	ร้อยละโดยปริมาตร
มีเทน	45-60
คาร์บอนไดออกไซด์	40-50
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	0.1-1.0
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0-1.0
แอมโมเนีย	0-0.2
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนอกไซด์	0-0.2
ก๊าซอื่น ๆ	0.01-0.6

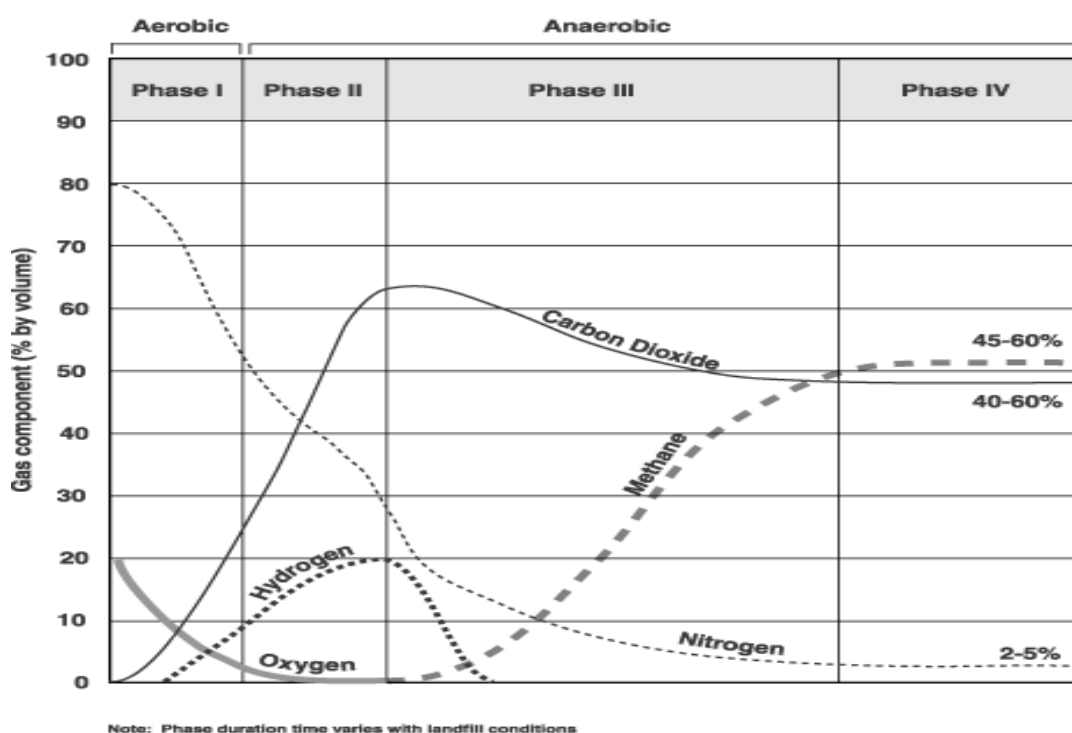
ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

1.3 ก๊าซมีเทน (CH_4)

ก๊าซมีเทนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม เป็นก๊าซที่มีอยู่ในธรรมชาติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นส่วนประกอบทางเคมีอย่างหนึ่งของบรรยากาศโลก เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในสภาพที่ไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรีย เกิดขึ้นได้ทั้งตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยปกติไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จึงไม่จัดเป็นก๊าซมลพิษ แต่ก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global warming potentials: GWPS) เป็น 21 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปกติมีเทนจะมีช่วงชีวิตในบรรยากาศ 8-10 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ ถือได้ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกที่น่าสนใจเนื่องจากมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ (สุนิสา, 2541; โรมรัน, 2525)

1.4 การเกิดและการแพร่กระจายก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย

ก๊าซจากการฝังกลบมูลฝอยส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการของจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่ม ภายใต้พื้นที่ฝังกลบในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยเริ่มจากพวกที่ต้องการออกซิเจน จากนั้นเป็นพวกที่สามารถอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีหรือไม่มีออกซิเจน และพวกที่อยู่ไม่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชนิดที่อยู่ไม่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน กิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ Non-methanogenic phase สารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะย่อยสลายเป็นสารโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ต่อมาเกิดการหมักทำให้กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์เปลี่ยนไปเป็นอะซิเตท ฟอร์มเมท เมทิลเอไมน์ ไดเมทิลเอไมน์ ไตรเมทิลเอไมน์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของ Methanogenic bacteria เมื่อเข้าสู่ Methanogenic phase แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะใช้สารตั้งต้นในช่วงปลายระยะ Non-methanogenic phase เพื่อเปลี่ยนให้เป็นก๊าซมีเทน



ภาพที่ 1 ระยะการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอย

ที่มา: U.S. EPA (1997)

ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระยะ โดยมีระยะการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบดังแสดงในภาพที่ 1

ระยะที่ 1 เป็นปฏิกิริยาเริ่มแรกที่จะมีแบคทีเรียแบบใช้ออกซิเจนอยู่ ในระยะนี้จะมีออกซิเจนและไนโตรเจนอยู่ในปริมาณสูง มีการย่อยสลายมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ให้สลายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการยุบตัวของมูลฝอยอย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่เริ่มมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในเครทและซัลเฟตจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในน้ำชะมูลฝอยจะพบว่าค่า pH ลดลง และเริ่มเกิด Volatile fatty acid ขึ้น

ระยะที่ 3 มีกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือกระบวนการไฮโดรไลซิสย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะถูกแบคทีเรียที่สามารถย่อยไขมัน เซลลูโลส และโปรตีน ทำการย่อยให้มีโมเลกุลเล็กลงจนละลายน้ำได้ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการย่อยที่สอง คือ Acidogen เป็นขั้นตอนที่แบคทีเรียทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ให้กลายเป็นกรดอะซิติก หรือกรดอินทรีย์ ผลผลิตจากกระบวนการทั้งสองจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากรวมทั้งก๊าซไฮโดรเจนด้วย ส่งผลให้ pH ในน้ำชะมูลฝอยลดลงเหลือประมาณ 5 หรือต่ำกว่า ในช่วงนี้จะพบว่าค่า COD มีค่าสูงมากที่สุดเนื่องจากการย่อยสลาย Volatile fatty acid

ระยะที่ 4 เป็นระยะที่แบคทีเรียจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์หรือย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยแต่มีปริมาณน้อยกว่าระยะที่ 3 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้ ทำให้ pH สูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 6.8 จนถึง 8.0 และ COD กับ Volatile fatty acid ก็จะลดลงไปด้วยจากการถูกย่อยสลายในกระบวนการที่เกิดขึ้น

ระยะที่ 5 เป็นระยะที่สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ถูกย่อยสลายไปจนเกือบหมด กระบวนการต่าง ๆ ได้เกิดขึ้นจนเต็มที่ จึงมีเหลือเพียงก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ยังคงพบในพื้นที่ฝังกลบ

นอกจากกระบวนการดังกล่าวข้างต้นแล้ว U.S. EPA (1997) ยังได้กล่าวถึงก๊าซที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ใช่มีเทนอีกจำนวนหนึ่ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งพบได้บ่อยในกลุ่มสารพิษในบรรยากาศ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดและแพร่กระจายประกอบด้วยปัจจัยทางด้านกายภาพของพื้นที่ที่ฝังกลบมูลฝอย เช่นการออกแบบ วัสดุที่ใช้ปกคลุม และองค์ประกอบของมูลฝอย เป็นต้น ประกอบกับปัจจัยจากสภาพทางภูมิอากาศ ฤดูกาล อุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในพื้นที่ที่ฝังกลบมูลฝอย นอกจากนี้อัตราการแพร่กระจายมลพิษจากพื้นที่ที่ฝังกลบมูลฝอยยังขึ้นอยู่กับกลไกการผลิตก๊าซและกลไกการถ่ายเทของก๊าซ

กลไกการผลิตก๊าซจะเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยสารที่เป็นไอระเหย การสลายตัวทางชีวภาพหรือปฏิกิริยาทางเคมี และการกลายเป็นไอระเหยจากความเข้มข้นของสารประกอบแต่ละชนิด คุณลักษณะทางฟิสิกส์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันภายใน ด้านชีวภาพพิจารณาการย่อยสลายทางชีวภาพ ส่วนในทางเคมีขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ องค์ประกอบมูลฝอย อายุของหลุมฝังกลบ ความชื้น ความเป็นกรดเบส อุณหภูมิและปริมาณออกซิเจน

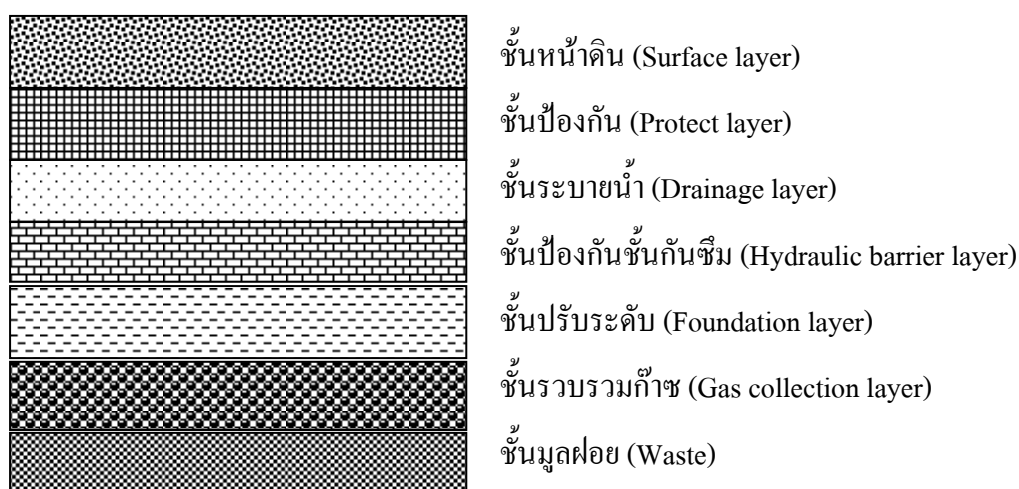
กลไกการถ่ายเทจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ในรูปของไอออกมาสู่พื้นผิวผ่านชั้นบรรยากาศเหนือพื้นที่ที่ฝังกลบมูลฝอยสู่บรรยากาศ กลไกการถ่ายเทสารระเหยในรูปของไอระเหยที่สำคัญ ประกอบด้วยกลไกการแพร่ (Diffusion) เป็นกลไกที่เป็นผลมาจากความโปร่งของดิน อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น คุณสมบัติในการแพร่ของสารนั้น ๆ ความหนาของชั้นดิน ปกคลุมและความเร็วลม กลไกการพาความร้อน (Convection) เป็นผลมาจากปริมาณแบคทีเรีย ส่วนประกอบของมูลฝอย ความชื้น อายุของพื้นที่ที่ฝังกลบมูลฝอย ความเป็นกรดเบส อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ระบบการคัดแยกและเก็บมูลฝอย กลไกการแทนที่ (Displacement) เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันของชั้นบรรยากาศ การแทนที่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน อัตราการระเหย อัตราการตกตะกอน และความสามารถในการซึมผ่านชั้นน้ำสู่บรรยากาศ

1.5 หน้าดินชั้นสุดท้ายของหลุมฝังกลบมูลฝอย

การฝังกลบในหลุมฝังกลบมูลฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การกลบทับหน้าดินชั่วคราวและการกลบทับหน้าดินชั้นสุดท้าย การกลบทับหน้าดินชั่วคราวเป็นการกลบทับหน้าดินทุกวันเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องแมลง ไฟไหม้ กลิ่น การไหลซึมของน้ำและการกัดกร่อน ส่วนการกลบทับหน้าดินชั้นสุดท้ายจะคล้ายกับการกลบหน้าดินทุกวัน แต่จะต้องมีการป้องกันมากกว่า โดยยอมให้มีการซึมผ่านของน้ำน้อยที่สุด เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องน้ำชะมูลฝอย ควบคุมการแพร่

ระบายของก๊าซ มีความเอียงที่เหมาะสมในการไหลและการระบายน้ำที่ผิวหน้าดินกลบทับ ตลอดจนเป็นการแยกมูลฝอยออกจากสิ่งแวดล้อม

หน้าดินกลบทับชั้นสุดท้ายประกอบด้วย ชั้นหน้าดิน ชั้นป้องกัน ชั้นกันซึมหรือชั้นระบายน้ำ ชั้นป้องกันชั้นกันซึม ชั้นปรับระดับและชั้นรวบรวมก๊าซดังภาพที่ 2 โดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องมีครบทุกชั้น ในบางครั้งชั้นเพียงชั้นเดียวอาจมีหลายหน้าที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ในหลุมฝังกลบมูลฝอยจริงหน้าดินชั้นสุดท้ายอาจมีเพียง 3-4 ชั้นเท่านั้น (Dunn and Singh, 1995)



ภาพที่ 2 รูปแบบทั่วไปของชั้นกลบทับมูลฝอยชั้นสุดท้าย

ที่มา: Dunn and Singh (1995)

Chiemchaisri *et al.* (2006) ทำการศึกษาผลของหน้าดินกลบทับชนิดต่าง ๆ พืชปกคลุม และการรดด้วยน้ำชะมูลฝอยต่อการแพร่ระบายก๊าซมีเทนจากสถานที่กำจัดมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งในจังหวัดนนทบุรี โดยการครอบปลั๊ก พบว่าอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน ซึ่งกรณีที่มีหน้าดินกลบทับด้วยดินเหนียวหรือดินร่วนปนทรายสามารถลดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนลงได้ร้อยละ 34 และ 19 ตามลำดับ แต่สำหรับในกรณีของดินร่วนปนทรายที่มีการปลูกพืชลงไปด้วย สามารถลดอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 76

อันธรี (2547) พบว่าหน้าดินที่เป็นดินเหนียวและดินร่วนปนทราย สามารถลดการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยบางชนิดได้ร้อยละ 43.34-99.99 ซึ่งดินเหนียวที่รุดน้ำจะทำหน้าที่เสมือนวัสดุที่บดแน่นป้องกันการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยในสภาพที่มีความชื้นสูง ส่วนดินร่วนปนทรายจะทำหน้าที่เป็นวัสดุดูดซับที่ยอมให้สารอินทรีย์ระเหยบางชนิดแพร่ผ่านได้ โดยที่ความชื้น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยและมวลดิน มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยของดินทั้งสองชนิด เมื่อความชื้นของดินเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยของดินจะลดลง ที่ความชื้นต่ำร้อยละ 0-5 ดินเหนียวมีการดูดซับดีกว่าดินร่วนปนทราย แต่ที่ความชื้นมากกว่าร้อยละ 5 ดินร่วนปนทรายสามารถดูดซับสารอินทรีย์ระเหยได้ดีกว่าดินเหนียว ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นและมวลดินเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิไม่มีนัยสำคัญต่อการดูดซับของดิน

2. สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs)

สารอินทรีย์ระเหย คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยมีความดันไอ (Vapor pressure) น้อยกว่า 760 ทอร์ (101.3 kPa) แต่มากกว่า 1 ทอร์ (0.13 kPa) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Derwent, 1995) และมีจุดเดือดสูงไม่เกิน 500 องศาฟาเรนไฮด์ หรือ 260 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับ 533 เคลวิน (Hunter and Oyama, 2000) สารอินทรีย์ระเหยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่ม Hydrocarbon และ Compounds ดังแสดงในตารางที่ 2

สารอินทรีย์ระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการฟุ้งเป็นไอได้ในสภาพอุณหภูมิและความดันปกติ สารกลุ่มนี้ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมทั้งมลพิษทางอากาศและการกระจายลงสู่พื้นดินและน้ำใต้ดิน โดยสามารถพิจารณาแหล่งที่มาได้ 2 กลุ่มหลักตามจุดประสงค์ของการใช้ประโยชน์ คือ กลุ่มที่เป็นสารประกอบปิโตรเลียม น้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน ไซลีน และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอื่น ๆ อีกหลายชนิด กลุ่มที่สำคัญอีกกลุ่ม คือกลุ่มที่นำมาใช้เป็นสารชะล้างและสารละลายในน้ำยาเคมี ซึ่งสารกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักตามสมบัติในการเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตคือกลุ่มไฮโดรคาร์บอนธรรมดา เช่น เบนซีน โทลูอิน ไซลีน และกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบเช่น Trichloroethylene (TCE), 1,1,1-Trichloroethane (TCA) และ Tetrachloroethylene หรือ Perchloroethylene (PCE) เป็นสารที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม มีคุณสมบัติในการละลายไขมันได้ดีจึงมักใช้ในกระบวนการชะล้างไขมันจากผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรม เช่น ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์และผลิตภัณฑ์ที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังนิยมนำมาผสมกับน้ำยาซักแห้ง ทำให้การซักผ้ามีประสิทธิภาพสูง การที่มีสารอินทรีย์ระเหยเหล่านี้ในบรรยากาศ อาจเป็น

อันตรายต่อสุขภาพถ้าหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดมลพิษทางอากาศ เนื่องจากสามารถรวมตัวกับไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศก่อตัวเป็นโฟโตเคมีคอลออกซิแดนซ์ขึ้น (ศิริกัลยา และคณะ, 2541; มีศักดิ์, 2540)

ตารางที่ 2 กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหย

Hydrocarbons	Examples	Compounds	Examples
Paraffins	Propane, butane, octane	Alcohols	Methanol, ethanol
Olefins	Ethylene, butadiene	Aldehydes	Formaldehyde
Acetylenes	Acetylene	Ketones	Methyl ethylketone
Aromatics	Toluene, benzopyrene	Acids	Formic acid
		Hydroperoxides	Peroxyacynitrite (PAN)
		Halides	Vinyl chloride, bromobenzene
		S compounds	Dimethyl sulfide
		N compounds	Trimethyl amine

ที่มา: Hunter and Oyama (2000)

นอกจากประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นสารทำละลายแล้วยังมีการพบสารอินทรีย์ระเหยจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยอีกด้วย (Derwent, 1995; Christensen *et al.*, 1996; Ward *et al.*, 1996; Allen *et al.*, 1997; Eklund *et al.*, 1998; Yassaa *et al.*, 2001) ดังตารางที่ 3 กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยที่พบจากหลุมฝังกลบโดยทั่วไปได้แก่ Chlorinated hydrocarbon, Aromatic hydrocarbon, Halogenated compounds, Alkanes, Cycloalkanes, Alcohols และ Ketones เป็นต้น แม้ว่าสารอินทรีย์ระเหยที่ระบายจากหลุมฝังกลบมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 ของก๊าซทั้งหมดที่ปล่อยออกจากหลุมฝังกลบมูลฝอย แต่เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารอินทรีย์ระเหย จึงทำให้สารดังกล่าวเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3 สารอินทรีย์ระเหยที่แพร่กระจายจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน

Compound	Allen <i>et al.</i> (mg/ m ³)	Young and Heasman (mg/ m ³)	Dent <i>et al.</i> (mg/m ³)	Brooks and Young (mg/m ³)	Eklund <i>et al.</i> (mg/m ³)	Ward <i>et al.</i> (mg/m ³)	Christensen <i>et al.</i> (mg/ m ³)
total alkanes	302-1543	-	0.3-1738	619	-	-	-
total cyclohexanes	80-487	-	<0.4-56	49	0.92	-	-
cyclohexane	6-30	1.1-40	-	33	-	3.61	-
methylcyclohexane	11-45	2.7-13	-	15	-	4.33	-
dimethylcyclohexanes	<0.1-16	0.5-12.5	-	<1	-	0.90	-
trimethylcyclohexanes	10-66	<0.1-5.5	-	<2	-	0.65	-
limonene	<0.1-287	3.3-269	-	240	35.38	-	3.3-269
total aromatics	36-1906	-	0.6-553	116.8	-	-	-
Benzene	<0.1-7	0.6-12	-	5	0.93	-	0.03-15
Toluene	10-287	18-197	-	15	14.57	-	0.2-615
Xylenes	36-440	7.9-139	-	34	5.97	-	0.2-383
ethylbenzenes	5-156	3.6-49	-	14	4.71	-	0.5-236
C ₃ -alkylbenzenes	<0.1-295	1.5-173	-	36	6.92	-	-
C ₄ -alkylbenzenes	<0.1-294	0.1-22	-	5.8	-	-	-
total alcohols	<0.1-1418	-	0.2-5053	>1052	-	-	-
chloroethene	<0.1-87	0.03-3	0.03-8.3	16	-	-	-
dichloromethane	1-85	7.7-490	0.1-397	140	-	2.10	-
1,2- dichloroethene	1-182	0.07-28	0.07-28	68	-	2.09	-
trichloroethene	<0.1-152	1.2-116	0.07-116	10	-	-	-
tetrachloroethene	<0.1-255	0.3-110	<0.1-110	250	-	2.50	-

ที่มา: Brooks and Young (1983); Young and Heasman (1985); Dent *et al.* (1986);
Christensen *et al.* (1996); Ward *et al.* (1996); Allen *et al.* (1997); Eklund *et al.* (1998)

2.1 สารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

สารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX เป็นสารอินทรีย์ระเหย กลุ่ม Monoaromatic hydrocarbons ซึ่งมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม น้ำมันเชื้อเพลิง และใช้เป็นวัตถุดิบการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก สีเคลือบ สีสิ่งพิมพ์ กาว ยางมาแมลง ยากำจัดวัชพืช สารฆ่าเชื้อรา สารละลายกำจัดไขมันในอุตสาหกรรม ทำให้มีการปนเปื้อนอยู่ในมูลฝอยชุมชนจากเศษวัสดุที่ใช้แล้ว เช่น ภาชนะบรรจุ เศษภาควัสดุที่หมดอายุการใช้งาน จากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน อยู่รอบรถยนต์ การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และกิจกรรมทางการเกษตร เป็นต้น

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

ชนิดสาร	สูตรเคมี	มวล โมเลกุล (g/gmole)	ค่าการ ละลายน้ำ (mg/l)	ความดัน ไอ (mm.Hg)	Henry 's coefficient (m ³ -atm/mol)	จุด หลอมเหลว (°C)	จุด เดือด (°C)
Benzene	C ₆ H ₆	78.11	1.75x10 ³	80.85	4.84 x10 ⁻³	5.5	80.1
Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃	92.14	535	21.86	5.72 x10 ⁻³	-93	110.6
Ethylbenzene	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	106.18	152	7.08	7.04 x10 ⁻³	-95	136
Xylene	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.18	198	4.89	6.38 x10 ⁻³	-25	144

ที่มา: Verchueren (1996); Hunter and Oyama (2000)

2.1.1 เบนซีน (Benzene: C₆H₆)

กรมควบคุมมลพิษ (2542) ได้รวบรวมข้อมูลเบนซีนไว้ว่าเป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ระเหยได้ง่าย ติดไฟได้ ละลายในน้ำได้เล็กน้อย เป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบของน้ำมันปิโตรเลียม เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีหลายชนิด เช่น Styrene, Phenol, Cyclohexane, Aniline และใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายชนิด เช่น ผลิตพลาสติก เรซิน ไนลอน ใยสังเคราะห์ ยาง สารหล่อลื่น สี สารซักล้าง และใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลง

แหล่งปล่อยเบนซินที่สำคัญ ได้แก่ ไอเสียรถยนต์ ไอระเหยจากการเติมน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เบนซินในกระบวนการผลิต ควันบูห์ และการปนเปื้อนจากผลิตภัณฑ์เคมีอื่น ๆ เช่น น้ำมัน กาว สี สารเคลือบเงา น้ำยาล้างทำความสะอาด และยาฆ่าแมลงบางชนิด เบนซิน สูญสลายได้โดยการแตกสลายจากการออกซิเดชันโดยแสงกับอนุมูล โดยเฉพาะปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ Hydroxyl พบว่ามีความสำคัญที่สุด และสามารถแตกสลายทางชีวภาพในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ได้ทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งค่าครึ่งชีวิตของเบนซินในสิ่งแวดล้อมแสดงใน ตารางที่ 5 พบว่าค่าครึ่งชีวิตในอากาศมีค่า 50.1-501 ชั่วโมง (2.09-20.9 วัน)

ตารางที่ 5 ค่าครึ่งชีวิตของเบนซินในสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อม	ค่าครึ่งชีวิต (Half-life, $t_{1/2}$)
อากาศ	50.1-501 ชั่วโมง (2.09-20.9 วัน)
น้ำผิวดิน	30-552 ชั่วโมง (1.25-23 วัน)
น้ำใต้ดิน	60-1,104 ชั่วโมง (2.5-46 วัน)
ดิน	30-552 ชั่วโมง (1.25-23 วัน)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2542)

การหายใจเอาเบนซินเข้าไปในระดับสูงมาก ๆ สามารถทำอันตรายถึงชีวิตได้ในระดับสูง รongลงมาเป็นเหตุให้เชื่องซึม วิงเวียน หัวใจเต้นเร็ว ปวดศีรษะ ใจสั่น สับสน และหมดสติ การดื่มและกินอาหารปนเปื้อนเบนซินในระดับสูงทำให้มีอาการอาเจียน กัดกร่อนกระเพาะอาหาร เวียนศีรษะ ง่วงนอน ชัก หัวใจเต้นเร็ว และเสียชีวิตได้ การได้รับเบนซินโดยต่อเนื่องเป็นเวลานาน 365 วันหรือนานกว่า จะมีผลทำลายไขกระดูก เป็นเหตุให้จำนวนเม็ดเลือดแดงลดลง และนำไปสู่โรคโลหิตจาง ทำให้เลือดหยุดไหลช้า ทำลายระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เพิ่มโอกาสการติดเชื้อ สตรีที่สูดดมเบนซินเป็นเวลาหลายเดือนจะมีระยะรอบเดือนไม่ปกติ ขนคางไข่เล็กลง ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าเบนซินมีผลต่อทารกในครรภ์หรือไม่ แต่เบนซินสามารถแพร่ผ่านทางรกและตรวจพบได้ในสายสะดือในปริมาณที่มากกว่าหรือเท่ากับที่พบในแม่ นอกจากนี้การสูดดมเบนซินในอากาศเป็นเวลานานจะทำให้เป็น Leukemia ความรุนแรงของอาการเกิดพิษจากเบนซินขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับ ดังข้อมูลแสดงความเป็นพิษของเบนซินในคนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ใน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความเป็นพิษของเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระดับความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาที่ได้รับ (นาที)	ความรุนแรงของอาการพิษ
20,000	5 – 10	ทำให้ตายได้
1,500	30	เป็นอันตรายต่อชีวิต (อาจตายได้)
1,500	60	ทำให้เกิดอาการพิษต่าง ๆ อย่างรุนแรง
500	60	ทำให้เกิดอาการพิษต่าง ๆ
50 - 150	5	ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย
25	8	ไม่มีอาการที่สังเกตได้

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2542)

2.1.2 โทลูอิน (Toluene: $C_6H_5CH_3$)

กรมควบคุมมลพิษ (2541ก) ได้รวบรวมข้อมูลของโทลูอินไว้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ทางการผลิตของอุตสาหกรรมถ่านหิน และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นสารไวไฟ และจัดเป็นสารที่มีอันตรายปานกลางตามการจำแนกชั้นขององค์การสหประชาชาติ ละลายน้ำได้น้อยมาก แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ โคลโรฟอร์ม อีเทอร์ อาซิโตน กรดอะซิติก และคาร์บอนไดซัลไฟด์

ส่วนใหญ่โทลูอินใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมยา เคมี ยาง และพลาสติก ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นและวัตถุดิบขั้นกลางในอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมหนังเทียม เส้นใย สารเคลือบกระดาษและหมึกพิมพ์ ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง ทินเนอร์ สี แล็กเกอร์ น้ำมันชักเงา และสารขจัดหรือล้างสี การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้โทลูอินแล้วปล่อยฟุ้งกระจายในบรรยากาศ และจากการสลายตัวของเศษวัสดุ สิ่งของเหลือใช้ที่ใช้โทลูอินในการผลิต

ตารางที่ 7 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของโทลูอิน

ระดับความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาที่ได้รับ (นาที)	ความรุนแรงของอาการพิษ
50-100	-	ไม่สังเกตเห็นอาการหลังการสัมผัส
200	8	เกิดอาการบวมเล็กน้อย ได้แก่ อาการเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย ความคิดสับสน เกิดอาการชาที่ผิวหนัง อาการเหนื่อยล้าจะคงอยู่หลายชั่วโมง และเกิดอาการ นอนไม่หลับ กระวนกระวาย
300	8	เกิดอาการข้างต้นเด่นชัดขึ้น
400	8	เกิดอาการข้างต้นและมีอาการจิตใจฟุ้งซ่านสับสน
600	3	เกิดอาการมึนงง เหนื่อยและเมื่อยล้ามาก จิตใจฟุ้งซ่าน และสับสน คลื่นเหียน ปวดและเวียนศีรษะ บางรายอาจ หมดสติได้
800	-	เกิดอาการที่คล้ายคลึงกับอาการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแต่ ใช้เวลาสัมผัสน้อยกว่า
>800	-	มีอาการข้างต้น และมีอาการอื่นเช่น โลหิตจางและดับโต

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2541ก)

โทลูอินเป็นสารที่ทำให้ผู้สูดหายใจเข้าไปเกิดอาการมึนงง มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันรุนแรงกว่าเบนซีน ปริมาณความเข้มข้นขั้นต่ำสุดที่เกิดผลต่อผู้สูดหายใจคือความเข้มข้น 10-15 ppm ที่ระดับ 100 ppm จะเริ่มได้กลิ่น มีผลรบกวนทางด้านจิตใจ และเมื่อถึง 200 ppm จะมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ปริมาณความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันต่อคนแสดงในตารางที่ 7 ส่วนความเป็นพิษแบบเรื้อรังเป็นเหตุให้การควบคุมการเคลื่อนไหวและระบบประสาทสัมผัสไม่ดี เกิดอุบัติเหตุหกล้มได้ง่าย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่มีการกำหนดขึ้นในต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของโทลูอิน

ประเทศ	ประเภท	มาตรฐาน mg/m ³ (ppm)
อังกฤษ เยอรมัน ตะวันออก	Long-term standard	0.6 (0.16)
บัลแกเรีย ยูโกสลาเวีย	เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	
สหภาพสังคมนิยมโซเวียต	Shot-term standard ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที	0.6 (0.16)
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	Long-term standard	20 (5.0)
	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที	
	Shot-term standard	60 (15)
	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที แต่ ห้ามมิให้ มีปริมาณเกินกว่าที่กำหนด เกิดขึ้นมากกว่า 1 ครั้ง ทุก ๆ 4 ชั่วโมง	

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2541ก)

2.1.3 เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene: C₆H₅C₂H₅)

เอทิลเบนซีน เป็นของเหลวที่ติดไฟได้ง่าย ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ระดับกลิ่นสัมผัสได้ของเอทิลเบนซีนมีความเข้มข้นที่ 2.3 ppm ในอากาศ เป็นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างเบนซีนกับเอทิลีน ใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลาย ผลิตภัณฑ์ สีย้อม โยสัณฐานสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ วานิช สี สารเคลือบผิว การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของเอทิลเบนซีนมีลักษณะเป็นการแพร่กระจาย อันตรายต่อสิ่งแวดล้อมคล้ายกับเบนซีนและโทลูอิน เอทิลเบนซีนเป็นสารที่ทำให้เกิดการระคายเคืองเยื่อเมือกตา ผิวหนัง และจมูก

2.1.4 ไซลีน (Xylene: $C_6H_4(CH_3)_2$)

กรมควบคุมมลพิษ(2541ข) ได้รวบรวมข้อมูลไซลีนว่าเป็น Aromatic hydrocarbon เป็นสารผสมของ o-Xylene ประมาณร้อยละ 30, m-Xylene ประมาณร้อยละ 60-70 และ p-Xylene ประมาณร้อยละ 5 มีสถานะเป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่สามารถละลายน้ำได้ที่ 20 องศาเซลเซียส แต่ละลายได้ดีใน Ethyl alcohol และ Ethyl ether จัดเป็นของเหลวไวไฟ ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม

การปนเปื้อนของไซลีนในสิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งแพร่กระจายที่สำคัญ คือ โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไซลีน ซึ่งไซลีนจะฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศภายในโรงงานและฟุ้งกระจายออกมาปนเปื้อนกับบรรยากาศภายนอกโดยออกจากปล่องอากาศเสียของโรงงาน ได้แก่ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ สี แล็กเกอร์ เซลลูล์ซ พิมพ์สี เคลือบเงาแผ่นโลหะ เฟอร์นิเจอร์ไม้ วัสดุซ่อมรถยนต์ และการแปรรูปบรรจุสารเคมีทางการเกษตร

ตารางที่ 9 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของไซลีน

ประเทศ	ประเภท	มาตรฐาน mg/m^3 (ppm)
อังกฤษ เยอรมัน ตะวันออก	Long-term standard	0.2 (0.05)
บัลแกเรีย ยูโกสลาเวีย	เฉลี่ย 24 ชั่วโมง	
สหภาพสังคมนิยมโซเวียต	Shot-term standard ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที	0.2 (0.05)
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	Long-term standard ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที	20 (5.0)
	Shot-term standard ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 30 นาที	60 (15)
	แต่ ห้ามมิให้ มีปริมาณเกินกว่าที่กำหนด	
	เกิดขึ้นมากกว่า 1 ครั้ง ทุก ๆ 4 ชั่วโมง	

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2541ข)

โซลินเข้าสู่ร่างกายได้ทางผิวหนังและการหายใจ เมื่อผ่านเข้าทางผิวหนังจะก่อให้เกิดอาการระคายเคืองรุนแรงมากกว่าการสัมผัสเบนซีนและโทลูอิน ส่วนการเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจเมื่อเข้าสู่ปอดจะส่งผ่านเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ระดับความเป็นพิษต่อมนุษย์จากการสัมผัสแบบเฉียบพลัน (Acute exposure) ที่ความเข้มข้นมากกว่า 200 ppm จะทำให้เกิดอาการไอ มีน้ำมูกไหล มึนงง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เสียวคอและหน้าอก ระคายเคืองต่อผิวหนังและตา ส่วนระดับความเป็นพิษแบบเรื้อรังทำให้เยื่อตาอักเสบ ผิวหนังและจมูกแห้ง คอแห้ง การหายใจเอาไอระเหยเข้าไปจะไปกระตุ้นและกดระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการชา สั่นกระตุก หวาดกลัว ความจำเสื่อม ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ภาวะวุ่นวาย เบื่ออาหาร ท้องอืด จากการสังเกตในคนไข้ตรวจพบว่าเนื้อเยื่อมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นมากผิดปกติและดัดแปลงเล็กน้อย มีเนื้อเยื่อหรือกลุ่มเซลล์บางส่วนตายและเป็นโรคไต ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่มีการกำหนดขึ้นในต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 9

2.2 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย

การเก็บตัวอย่างและวัดอัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยสามารถวัดได้ทั้งโดยการหาความเข้มข้นและการหาอัตราการแพร่กระจายก๊าซต่อพื้นที่ผิวหน้า ซึ่งการวัดอัตราการแพร่กระจายต่อพื้นที่ผิวหน้าเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้วัดอัตราการแพร่กระจายจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

2.2.1 การวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซต่อพื้นที่ผิวหน้า

Surface Emission Isolation Flux Chamber เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการวัดอัตราการแพร่กระจายจากหลุมฝังกลบมูลฝอย ซึ่งเป็นการวัดอัตราการแพร่กระจายจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซที่แพร่ออกมาในอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์ ความเข้มข้นของก๊าซที่สะสมในอุปกรณ์ครอบจะเพิ่มขึ้นโดยก๊าซที่อยู่ภายนอกอุปกรณ์ครอบไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาได้ แล้วทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้น

ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถวัดก๊าซได้ในกรณีที่ก๊าซมีปริมาณน้อย ไม่ต้องใช้พลังงาน สะดวกในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ ก๊าซที่อยู่ในอุปกรณ์ครอบจะไม่ถูกรบกวนจากก๊าซที่อยู่ภายนอก ก๊าซที่สะสมอยู่ในอุปกรณ์ครอบจะเกิดการผสมอย่างทั่วถึง และสามารถตรวจวัดในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก

สำหรับข้อเสียของวิธีการนี้คือเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันในดินเนื่องจากการฝังอุปกรณ์ครอบลงในดิน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในดินและอุณหภูมิของก๊าซภายในอุปกรณ์ครอบจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน อาจเกิดการปนเปื้อนหรือการผสมของก๊าซตรงรอยต่อระหว่างอุปกรณ์ครอบกับชั้นดินถ้าไม่มีการอุดรอยต่อให้ดี และการที่ก๊าซถูกเก็บสะสมไว้ภายในทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการวัดความเข้มข้นของก๊าซ

Patrick (1994) ให้คำจำกัดความของการครอบปลั๊กว่าเป็นวิธีการครอบเฉพาะส่วน ซึ่งใช้วัดค่าการแพร่ระบายของก๊าซมลพิษที่ระบายออกจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย ผิวหน้า บ่อน้ำ ถึงเก็บน้ำและพื้นดินที่มีการปนเปื้อน โดยใช้อุปกรณ์ครอบพื้นที่ที่ต้องการใช้เป็นตัวแทนของพื้นผิวแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งสามารถใช้วิธีนี้ในการวัดสารอินทรีย์ระเหยที่แนะนำและพัฒนาขึ้นโดย U.S. EPA (Shen *et al.*, 1993) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีการ

ก. แบบ Dynamic Mode ใช้สำหรับกรณีที่ต้องการผลตรวจวัดแบบต่อเนื่องโดยใช้หลักควบคุมการไหลของก๊าซสะอาด ที่ใช้เดิมเข้าไปแทนที่ก๊าซมลพิษในชุดครอบภายใน มีอุปกรณ์พัดลมเพื่อให้เกิดการผสมกันภายในแล้วจึงระบายออกทางช่องที่เตรียมไว้ ค่าความเข้มข้นของก๊าซมลพิษจะวัดได้ที่ช่องทางระบายก๊าซออกโดยใช้วิธีการที่เหมาะสม

ข. แบบ Static Mode ใช้อุปกรณ์ครอบปลั๊กครอบบนพื้นผิวแหล่งกำเนิดมลพิษแบบระยะสั้นเป็นช่วง ไม่ต้องการความต่อเนื่องของค่าที่ตรวจวัด ดำเนินการโดยการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซมลพิษเมื่อเริ่มต้นครอบปลั๊ก แล้วทำการปิดฝาครอบหรือท่อดักไว้ ทำให้ก๊าซมลพิษที่ระบายขึ้นสู่พื้นผิวถูกกักเก็บไว้ในอุปกรณ์ เมื่อครอบจนได้ระยะเวลาตามที่ต้องการในช่วงสั้น ๆ และเหมาะสมกับสถานะสมดุลของก๊าซภายในแล้ว ให้ทำการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซครั้งที่สอง แล้วนำค่าความเข้มข้นที่วัดได้ครั้งแรกมาหักออกจากครั้งที่สอง จะได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซมลพิษที่แพร่ระบายในช่วงเวลานั้น ๆ

2.2.2 การเก็บตัวอย่างก๊าซ

การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศมี 2 วิธี คือ Passive sampling หมายถึงการเก็บตัวอย่างโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำในสถานะคงตัว โดยการดูดซึมทางเคมีหรือการดูดซับทางด้านกายภาพบนตัวกลาง วิธีนี้ไม่ต้องใช้ปั๊มในการเก็บตัวอย่าง ส่วนอีกวิธีคือ Active sampling หมายถึงการเก็บตัวอย่างอากาศที่ต้องอาศัยปั๊มในการดูดตัวอย่างอากาศเพื่อเก็บสารที่ต้องการตรวจสอบผ่านตัวกลางโดยอาศัยหลักการเข้าไปแทนที่อากาศ การควบแน่น การดูดซึม การดูดซับ อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยโดยใช้หลอดดูดซับ (Adsorbent tube) สิ่งสำคัญที่ต้องการคำนึงถึงมาก ๆ ในการใช้หลอดดูดซับคือมี Breakthrough ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อหลอดดูดซับอิ่มตัวแล้วผ่านออกไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการดูดซับตัวอย่างสรุปดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของการดูดซับตัวอย่าง

ปัจจัย	ผลกระทบ
อุณหภูมิ	- การดูดซับลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น - อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ Breakthrough เพิ่มขึ้น - อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง
ความชื้น	- ไอน้ำถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มีคุณสมบัติเป็นโพลาร์ - ความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้ Breakthrough เพิ่มขึ้น
อัตราการไหล	- อัตราการไหลของการเก็บตัวอย่างถ้าสูงขึ้นเกินกว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ตัวดูดซับจะรับได้ จะมีผลทำให้ความสามารถในการเก็บตัวอย่างของตัวดูดซับมีค่าลดลง
ความเข้มข้น	- อัตรา Breakthrough เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวอย่างสูงขึ้น
ลักษณะตัวดูดซับ	- ขนาดของอนุภาคของตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับตัวอย่างมาก แต่แรงต้านทานการไหลของอากาศจะแปรผกผันต่อขนาดของอนุภาค และปัญหาของการเปลี่ยนแปลงแรงต้านทานการไหลของอากาศอาจเนื่องมาจากการฟองตัว หดตัว

ที่มา: วรรณ (2544)

2.2.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างหรือสกัดตัวอย่างก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟมีหลายวิธีได้แก่

ก. Headspace วิธีนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ก๊าซและสารอินทรีย์ระเหยที่ระเหยได้ง่ายหรือมีจุดเดือดต่ำ แต่ไม่สามารถตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยที่มีจุดเดือดสูง ๆ และสารอินทรีย์กึ่งระเหยได้ รวมทั้งความไวของเทคนิคนี้อยู่ในระดับ ppm

ข. Purge and trap thermal desorption วิธีนี้สามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหยได้โดยการ Purge ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถตรวจวัดสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ เทคนิคนี้มีควมไวมากกว่า Headspace 1000 เท่าสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหย โดยอยู่ในช่วง ppb อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยที่มีจุดเดือดต่ำหรือระเหยง่าย เนื่องจากสารดังกล่าวไม่ติดบนตัวดูดซับ

ค. การสกัดด้วยสารละลาย โดยสารละลายที่ใช้สกัดมักใช้คาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อสกัดสารอินทรีย์ระเหยออกจากตัวดูดซับ เช่น Activated carbon เนื่องมาจากคาร์บอนไดซัลไฟด์มีประสิทธิภาพในการสกัดสารอินทรีย์ระเหยค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีข้อเสียคือ สารละลายที่ใช้ในการสกัดและวิเคราะห์เป็นสารอันตราย และอาจมีปัญหาในการแยกเนื่องจากมีสิ่งเจือปนในสารละลายจะลดความจำเพาะเจาะจงเนื่องจากการเจือจางตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมาก รวมทั้งหลอดดูดซับตัวอย่างไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ง. เทอร์มอลดีซอร์प्ชัน (Thermal desorption) เป็นเทคนิคที่ใช้สกัดตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหยโดยไม่ใช้สารละลายและความจำเพาะเจาะจงสูง ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปยังเครื่องมือที่วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ความร้อนและก๊าซซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซฮีเลียม ตัวอย่างจะถูกสกัดออกมาและเคลื่อนย้ายเข้าสู่เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ เช่น เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ โดยก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพาเพื่อคัดแยกและวิเคราะห์สาร ข้อดีของเทคนิคนี้คือ มีความจำเพาะเจาะจงสูงขึ้นประมาณ 1000 เท่า เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยสารละลาย การเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยาก ไม่มีสิ่งรบกวนการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพในการสกัดประมาณร้อยละ 99 และสามารถนำตัวดูดซับซึ่งใช้ในการเก็บตัวอย่างกลับมาใช้ใหม่ได้

3. กลิ่นและการตรวจวัด

กลิ่นเป็นปัจจัยชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมตัวหนึ่งซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นเหตุเดือดร้อนรำคาญและแหล่งกำเนิดกลิ่นมักเป็นสารอินทรีย์ระเหย แต่มาตรฐานด้านการวัดกลิ่นนั้นยังเป็นสิ่งที่กำหนดเป็นมาตรฐานได้ยาก เนื่องจากขึ้นกับประสาทรับรู้กลิ่นของแต่ละบุคคล

3.1 ความหมายและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกลิ่น

Odour measurement หมายถึง วิธีการที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่น กระทำโดยการให้ผู้ทำการตรวจวัดกลิ่นตรวจวัดการได้กลิ่นที่อัตราส่วนการเจือจางของตัวอย่างอากาศที่ต้องการวัดกลิ่นกับอากาศสะอาดในอัตราส่วนต่าง ๆ กันเพื่อทำการหา Odour concentration

Olfactometer หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับกลิ่น โดยใช้การเจือจางตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นด้วยอากาศที่สะอาดปราศจากกลิ่นในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำการตัดสินใจหาอัตราส่วนการเจือจางที่กลิ่นเจือจางจนหายไปโดยผู้ทำการทดสอบดมกลิ่น

Detection threshold ได้แก่ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของแหล่งกำเนิดกลิ่น ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่ครั้งหนึ่งของการตรวจวัดจะพบว่าได้กลิ่นของแหล่งกำเนิดกลิ่นนี้ โดยอยู่ภายใต้สภาวะการทดลองที่กำหนด

Odour threshold ได้แก่ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่เป็นตัวให้กำเนิดกลิ่นที่ทำให้เริ่มได้กลิ่น ซึ่งจะพบว่าค่านี้มีความผันแปรสูงมากเนื่องมาจากความสามารถในการรับรู้กลิ่นที่แตกต่างกันอย่างมากของผู้ทำการทดสอบกลิ่น

Odour concentration หมายถึง ความเข้มข้นของกลิ่นในหน่วย OU/m³ โดยความเข้มข้น 1,000 OU/m³ คือตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นต้องการการเจือจาง 1,000 เท่า เพื่อเจือจางให้กลิ่นหายไป

Odour unit เป็นหน่วยที่กำหนดว่า 1 OUE/m³ คือความเข้มข้นของกลิ่น ที่ทำให้ผู้ทำการทดสอบกลิ่นครั้งหนึ่งสามารถรับรู้กลิ่นได้ สำหรับมาตรฐาน CEN กำหนดค่าไว้ว่า 1 OUE/m³ มีค่าเท่ากับ n-Butanol ที่มีความเข้มข้น 40 ppb

ตารางที่ 11 คุณสมบัติด้านกลิ่นและความเข้มข้นที่ทำให้เริ่มได้กลิ่นของสารประกอบบางประเภท

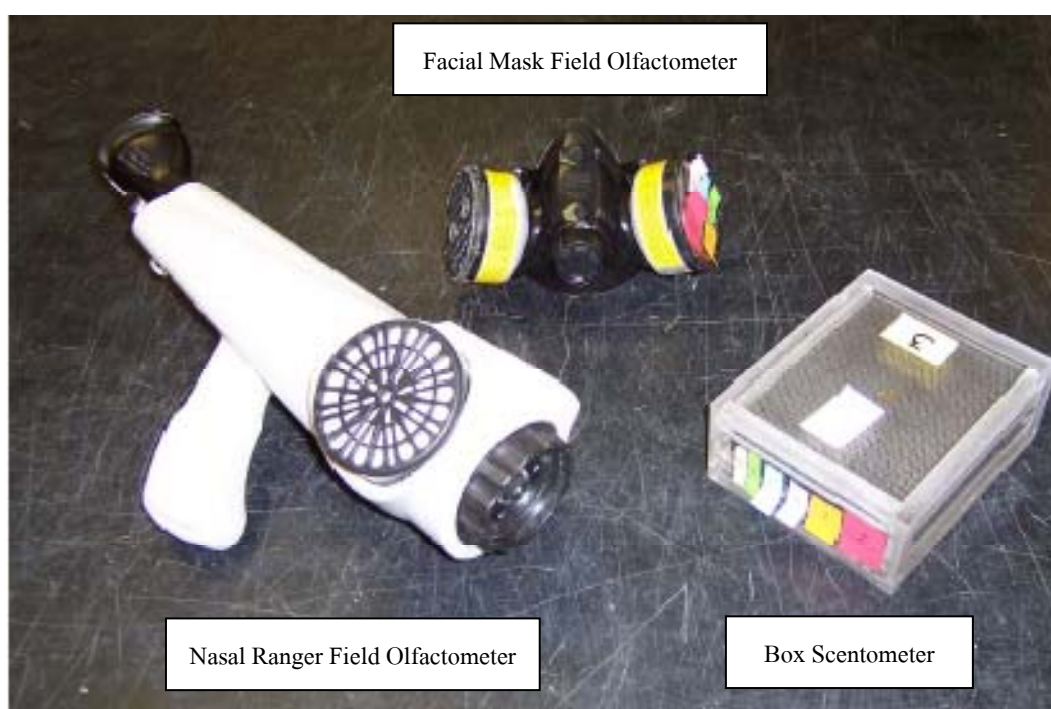
ประเภทของสาร	ชื่อสาร	สูตรเคมี	ลักษณะกลิ่น	ความเข้มข้น (ppm)
Sulfur compounds				
Sulfides	Hydrogen sulfide	H_2S	Rotten eggs	4.7×10^{-3}
Mercaptans	Methyl mercaptan	CH_3SH	Decayed cabbage	2.0×10^{-5}
	Allyl mercaptan	$CH_2=CHCH_2SH$	Garlic	3.0×10^{-3}
	Benzyl mercaptan	$C_6H_5CH_2SH$	Unpleasant	2.6×10^{-3}
Thioethers	Dimethyl sulfide	$(CH_3)_2S$	Decayed cabbage	3.0×10^{-3}
	Diethyl sulfide	$(C_2H_5)_2S$	Foul, garlic	4.8×10^{-3}
Nitrogen compounds				
Inorganic	Ammonia	NH_3	Pungent	4.7×10^{-1}
Aliphatic amines	Dimethylamine	$(CH_3)_2NH$	Fishy	4.7×10^{-2}
Heterocyclic amines	Pyridine	C_5H_5N	Empyreumatic	3.0×10^{-3}
	3-Methylindole	C_9H_9N	Fecal	5.0×10^{-2}
Cyanides	Hydrogen cyanide	HCN	Bitter almonds	9.0×10^{-1}
Hydrocarbons				
Aliphatics	2-Butene	$CH_3CH=CHCH_3$	House gas	2.4×10^1
	2-Methylpropene	$CH_2=C(CH_3)_2$	House gas	2.0×10^1
Oxygenates				
Phenol	Phenol	C_6H_5OH	Empyreumatic	4.7×10^{-2}
Aldehydes	Formaldehyde	$HCHO$	Pungent	1.0×10^0
	Acetaldehyde	CH_3CHO	Lachrymogenous	6.6×10^{-2}
Organic acids	Butanoic acid	C_3H_7COOH	Rancid	1.0×10^{-3}
Inorganics				
Chlorine	Chlorine	Cl_2	Pungent	3.1×10^{-1}
Ozone	Ozone	O_3	Cut hay	5.1×10^{-1}
Sulfur Oxides	Sulfur dioxide	SO_2	Pungent	4.7×10^{-1}

ที่มา: Alexandria (1995)

3.2 การตรวจวัดกลิ่น

ในปี ค.ศ. 1958 U.S. Public Health Services ได้เริ่มให้การสนับสนุนการพัฒนาเครื่องมือวัดกลิ่นแบบใช้วัดในภาคสนามขึ้น ซึ่งต่อมาในปี 1960 Barnebey-Cheny Company เป็นบริษัทแรกที่พัฒนาเครื่องมือชนิดนี้ขึ้นภายใต้ชื่อ Scentometer โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกลิ่นจากอัตราส่วนการเจือจางของอากาศโดยผู้ตรวจวัดทำการดมกลิ่นผ่านเครื่องที่มีจำนวนช่องเปิดของอากาศที่ผ่านการกรองด้วยคาร์บอนจนปราศจากกลิ่นจำนวนต่าง ๆ กัน ทำให้เกิดอัตราส่วนการเจือจางต่าง ๆ

ภายหลังการพัฒนา Scentometer แล้ว Nasal Ranger Field Olfactometer เป็นเครื่องมือที่พัฒนาต่อมาโดยอาศัยหลักการเจือจางอากาศที่มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดกลิ่นด้วยอากาศสะอาดที่ผ่านการกรองจากคาร์บอน ได้ออกมาเป็นค่า Dilution-to-Threshold (D/T) ซึ่งบอกถึงปริมาณอากาศสะอาดที่ต้องใช้ในการเจือจางกลิ่นจนถึงระดับที่ไม่สามารถรับรู้กลิ่นนั้นได้ เครื่องมือวัดกลิ่นแบบต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องตรวจวัดกลิ่นภาคสนามที่มีการพัฒนาขึ้นใช้งาน

ที่มา: Sheffield *et al.* (2004)

เครื่องมือตรวจวัดกลิ่นภาคสนามแบบต่าง ๆ มีการศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพโดยการศึกษาของ Sheffield *et al.* (2004) ซึ่งศึกษาในรัฐโอไฮโอของสหรัฐอเมริกาโดยศึกษาเปรียบเทียบเครื่องมือวัดกลิ่นที่ใช้หลักการเจือจางของอากาศ ได้แก่ เครื่อง Nasal Ranger Field Olfactometer เครื่อง Facial Mask Field Olfactometer เครื่อง Scentometer และเครื่องมือ Dynamic triangular force-choice Olfactometer (DTFCO) ซึ่งเป็นเครื่องมือใช้ในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับวิธีการเปรียบเทียบความเข้มข้นกลิ่นกับ n-Butanol และโดยวิธีใช้ค่าวิเคราะห์ตัวอย่างแอมโมเนียและตัวอย่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่า Nasal Ranger Field Olfactometer กับ DTFCO มีสหสัมพันธ์ภายในสูงกว่าวิธีการอื่น ในขณะที่วิธีการเปรียบเทียบความเข้มข้นกลิ่นกับ n-Butanol ทั้งที่วิเคราะห์ในภาคสนามและเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีสหสัมพันธ์ที่ต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบสหสัมพันธ์ของแต่ละวิธีแล้วพบว่า มีสหสัมพันธ์ต่อกันปานกลาง

การตรวจวัดกลิ่นในประเทศไทยมีการศึกษาการตรวจวัดกลิ่นจากฟาร์มสุกรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของกลิ่นต่อการตอบสนองของมนุษย์โดยต้องการทราบระดับกลิ่นในระดับที่ตรวจจับกลิ่นได้ ระดับที่ทำให้จำกลิ่นได้และระดับที่ก่อให้เกิดความรำคาญ พบว่ากลิ่นในระดับที่เริ่มก่อให้เกิดความรำคาญคือกลิ่นที่มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงกว่า 30 OU ซึ่งหน่วย OU ในการศึกษาหมายถึง จำนวนเท่าของอากาศปราศจากกลิ่นที่ต้องใช้ในการเจือจางกลิ่นตัวอย่างไปจนถึงระดับที่ไม่ได้กลิ่น (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549)

3.3 มาตรฐานเกี่ยวกับกลิ่นในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยหากมีผู้ได้รับความเดือดร้อนจากกลิ่นไม่พึงประสงค์จากสถานประกอบการ จะต้องไปดำเนินการร้องเรียนกับหน่วยงานราชการ ซึ่งทางเจ้าหน้าที่ทำได้เพียงการตรวจสอบและตักเตือนให้แก้ไขเท่านั้น เนื่องจากไม่มีตัวบทกฎหมายที่จะดำเนินการลงโทษผู้ประกอบการที่สร้างกลิ่นรบกวนได้ กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้ขอความร่วมมือทางวิชาการจาก องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น (JICA) เพื่อศึกษาทำความเข้าใจปัญหากลิ่นรบกวนจากโรงงาน เพราะมีความรู้ความเชี่ยวชาญในวิธีการตรวจสอบกลิ่นด้วยจมูก และมีการบังคับใช้กฎหมายเป็นประเทศแรกในโลกในระยะเวลากว่า 10 ปี จนได้ออกกฎหมายว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน ซึ่งประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2548 และมีผลบังคับใช้มาตั้งแต่วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2549 เป็นต้นไป นับเป็นประเทศแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีกฎหมายออกมาบังคับใช้ (ไทยโพสต์, 2549)

กระทรวงอุตสาหกรรม (2548) ประกาศกฎหมายกำหนดมาตรฐานด้านกลิ่น โดยกำหนดค่าความเข้มข้นกลิ่น (Odour concentration) เป็นค่าแสดงสภาพกลิ่นซึ่งเป็นอัตราส่วนการเจือจางตัวอย่างอากาศที่มีกลิ่นด้วยอากาศบริสุทธิ์จนเกือบจะไม่สามารถรับกลิ่นได้ กลิ่นที่แรงกว่าจะมีค่าความเข้มข้นกลิ่นมากกว่า เพราะต้องเจือจางด้วยอากาศบริสุทธิ์ปริมาณมากกว่าโดยทำการวิเคราะห์กลิ่นด้วยการดม มาตรฐานในประเทศไทยกำหนดให้มีค่าได้ตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่ามาตรฐานความเข้มของกลิ่นตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ที่ตั้งโรงงาน	ค่าความเข้มกลิ่นที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน	ค่าความเข้มกลิ่นที่ปล่อยระบายอากาศของโรงงาน
เขตอุตสาหกรรม	30	1000
นอกเขตอุตสาหกรรม	15	300

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม (2548)

เนื่องจากการตรวจวัดกลิ่นเป็นการใช้ความรู้สึกได้กลิ่นในการตัดสินใจ ผู้ทำการตรวจวัดกลิ่นจึงต้องผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการคัดเลือกผู้ดมกลิ่นที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ไม่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหรือผลประโยชน์ทับซ้อนกับการตรวจสอบกลิ่นของโรงงานนั้น ๆ ไม่ดื่มเหล้า ไม่สูบบุหรี่ และมีประสิทธิภาพในการดมกลิ่นแม่นยำ ส่วนเจ้าหน้าที่จัดเก็บตัวอย่างอากาศก็เป็นอีกชุดหนึ่งและทดสอบกลิ่นภายในห้องปฏิบัติการที่มีลักษณะโล่งกว้าง อากาศถ่ายเทสะดวก สำหรับวิธีการคัดเลือกผู้ดมกลิ่นจะนำแผ่นกระดาษบาง ๆ ที่จุ่มกลิ่นดอกไม้ กลิ่นไหม้ กลิ่นอุจจาระ กลิ่นเนือเน่า ซึ่งเป็นกลิ่นสังเคราะห์ในปริมาณความเข้มข้นเหมาะสมมาให้ดมแล้วให้ระบุว่าเป็นกลิ่นใด เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการดมกลิ่น

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ

นิพนธ์ (2537) ให้คำจำกัดความของแบบจำลองว่าเป็นตัวแทนของสรรพสิ่งอันใดอันหนึ่ง เช่น วัตถุ ระบบ เหตุการณ์ เป็นต้น และมักจะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการคาดเดาและควบคุมสรรพสิ่งนั้น ๆ แบบจำลองทำหน้าที่อธิบายถึงลักษณะของวัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ หรือระบบมากกว่าที่จะบรรยายว่าสรรพสิ่งเหล่านั้นเป็นเช่นไร แบบจำลองมักถูกสร้างมาเพื่อใช้หรือทำให้มองเห็นว่าสิ่งนั้นหรือระบบนั้นถูกเปลี่ยนแปลงไปในทางหนึ่งหรือหลายทางจะมีผลกระทบต่อองค์ประกอบใด ๆ ของสิ่งนั้นหรือระบบนั้น

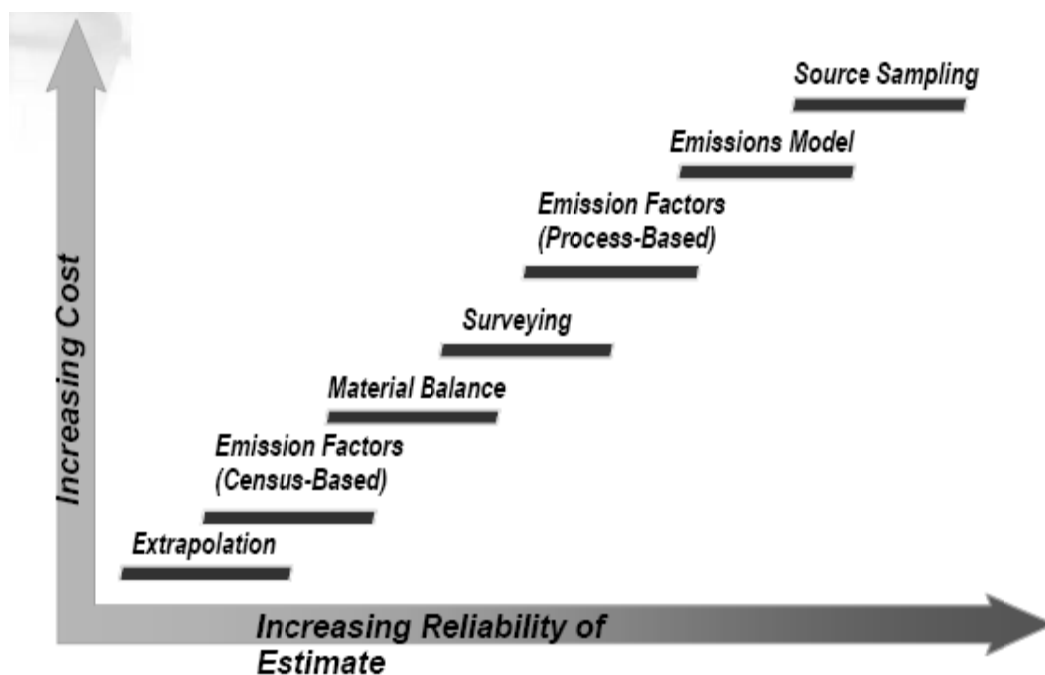
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือสูตร วิธีการคำนวณ ขั้นตอน ซึ่งใช้แทนปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ และทางเคมีที่เกิดขึ้นจริง และเมื่อกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ หมายถึงสูตรทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาจากพื้นฐานของทฤษฎีของกฎการแพร่กระจาย ประกอบกับผลที่ได้จากการทดลองทั้งในอุโมงค์ลม ห้องปฏิบัติการ และในภาคสนาม เพื่ออธิบายถึงลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศในสถานะต่าง ๆ แล้วใช้การคาดประมาณค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดใด ๆ หรือสรุปให้ง่ายว่าเป็นชุดของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในเรื่องมลพิษทางอากาศ (แสงสันต์, 2545; สุพัฒน์ 2534)

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ

4.1.1 หลักการใช้แบบจำลอง

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาผลกระทบจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งการศึกษาผลกระทบที่ดีที่สุดนั้นคือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศด้วยเครื่องมือทางฟิสิกส์หรือทางเคมี แต่การตรวจวัดทำได้จำกัดเนื่องจากสามารถตรวจวัดได้เพียงชั่วระยะเวลาหนึ่ง หรือบางครั้งต้องใช้เวลามาก เช่นการวัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธีพาราโรซานิณต้องใช้เวลาถึง 24 ชั่วโมงจึงจะได้หนึ่งตัวอย่าง ค่าที่วัดได้จึงเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง หากต้องการทราบค่าในชั่วโมงใดระหว่าง 24 ชั่วโมงนั้นก็ไม่สามารถทราบได้ นอกจากจะใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงซึ่งมีคุณสมบัติในลักษณะของการวัดแบบต่อเนื่อง

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจะประเมินค่ารายชั่วโมง หรือ ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงหรือค่าเฉลี่ยรวมรายปีได้อย่างสมบูรณ์ แต่จำเป็นจะต้องรู้ข้อมูลของแหล่งกำเนิด และสภาพทางด้านอุตุนิยมวิทยาอย่างถูกต้องที่สุด ผลที่ได้จะมีความถูกต้องไม่มากไปกว่าข้อมูลที่ได้ทำการป้อนเข้าไปเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการประเมินได้เกินร้อยละ 50 ของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นจริง



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของความน่าเชื่อถือของผลกับต้นทุนในการศึกษามลพิษทางอากาศ

ที่มา: Thepanondh (2006)

เมื่อพิจารณาจากข้อดีและข้อเสียของวิธีในการศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศสู่สิ่งแวดล้อม การศึกษาควรใช้ประกอบกันทั้งสองวิธีโดยสามารถนำข้อดีของแต่ละวิธีมาเสริมกันได้โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถได้ผลโดยรวดเร็วเพื่อแสดงจุดที่คาดว่าจะมีผลกระทบสูงแล้วจึงตั้งจุดตรวจวัดด้วยวิธีทางเคมีหรือฟิสิกส์ที่จุดนั้น หลังจากนั้นนำผลการตรวจวัดที่ได้จริงนั้นมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อปรับปรุงข้อมูลที่ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

4.1.2 ประเภทของแบบจำลองทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ

แบบจำลองเพื่อทำนายความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ สามารถจำแนกออกเป็นประเภทหลัก ๆ ได้หลายประเภท ซึ่งบางแบบจำลองอาศัยการผสมผสานแบบจำลองแต่ละประเภทเข้าด้วยกัน ได้แก่

ก. Box model หรือแบบจำลองแบบกล่องเป็นแบบจำลองชนิดที่ง่ายที่สุด โดยกำหนดขอบเขตที่ศึกษาเป็นกล่องแล้วทำการจำลองปริมาตรของอากาศในแต่ละพื้นที่ที่อยู่ภายในกล่อง แล้วกำหนดให้มลพิษที่อยู่ในกล่องมีการแพร่กระจายผสมเป็นเนื้อเดียวเท่ากันทั้งหมด แล้วจึงทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษในกล่องที่กำหนดขึ้น วิธีนี้แม้ว่าจะมีการใช้กันมากแต่ข้อจำกัดที่สำคัญก็คือความสามารถในการทำนายให้ถูกต้องแม่นยำนั้นเป็นไปได้ยาก (Atkins, 2005)

ข. Gaussian model หรือแบบจำลองแบบ Gaussian เป็นแบบจำลองที่เรียกได้ว่าเก่าแก่ที่สุดและมีการใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด โดยหลักการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศโดยการแจกแจงแบบ Gaussian หรือกล่าวได้ว่าเป็นการทำนายการแพร่กระจายมลพิษจากความเป็นไปได้ตามการแจกแจงปกติ แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ใช้กันบ่อยที่สุดในการทำนายการแพร่กระจายของพหุมมลพิษที่เป็นพหุผลจากแหล่งกำเนิดแบบต่อเนื่องทั้งแหล่งกำเนิดที่ระดับพื้นดินและแหล่งกำเนิดที่มีความสูง นอกจากนี้แบบจำลองแบบ Gaussian ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพหุมมลพิษแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งเรียกว่า Puff model (Beychok, 2005)

ค. Lagrangian model เป็นแบบจำลองที่อาศัยการติดตามอนุภาคของพหุมมลพิษที่มีการเคลื่อนที่ผ่านไปมาในบรรยากาศ โดยใช้กระบวนการเคลื่อนที่แบบสุ่มในการคำนวณการแพร่กระจายของมลพิษโดยคำนวณวิถีทางเดินของมลพิษส่วนใหญ่ด้วยการเคลื่อนที่ของกรอบอ้างอิง นั่นคือผู้สังเกตหรือตรวจวัดมลพิษเคลื่อนที่ไปพร้อมกับพหุม (European Union Joint Research Centre., 2005)

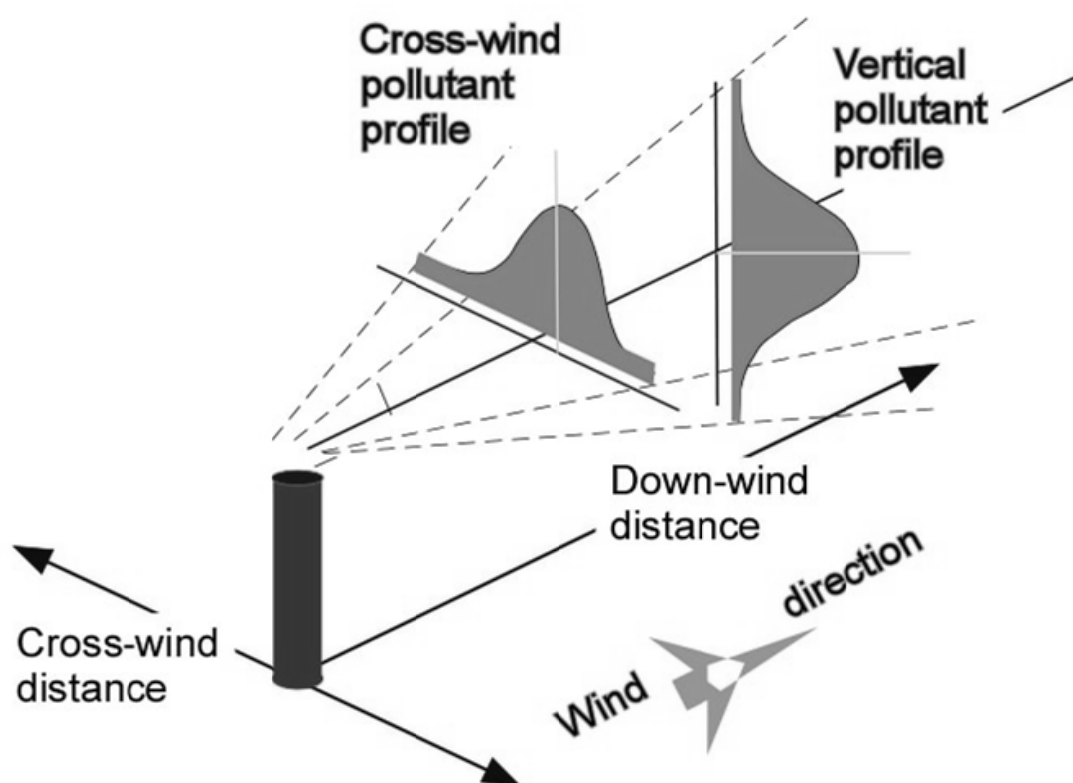
ง. Eulerian model เป็นแบบจำลองที่เหมือนกันกับ Lagrangian model คืออาศัยการติดตามการเคลื่อนที่ของมลพิษส่วนใหญ่ที่เคลื่อนออกจากแหล่งกำเนิด ข้อแตกต่างสำคัญก็คือแบบจำลองนี้ใช้กรอบอ้างอิงฟิสิกติกจาก 3 มิติแบบคงที่ นั่นคือผู้สังเกตอยู่กับที่แล้วติดตามพหุมมลพิษที่เคลื่อนที่ไป (European Union Joint Research Centre., 2005)

4.2 แบบจำลองแบบ Gaussian

4.2.1 สมการการแพร่กระจายแบบ Gaussian

การศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษมีการศึกษาขึ้นไปในช่วงตั้งแต่ประมาณปี 1930 หรือก่อนหน้านั้น ซึ่งสมการการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศที่เรียกว่าเกาส์สมการหนึ่งพัฒนาขึ้นโดย Bosanquet และ Pearson (Bosanquet, 1936) โดยสมการนั้นยังไม่ได้ใช้การแจกแจงแบบ Gaussian และยังไม่มีการคำนวณเรื่องการสะท้อนกลับของพุ่มเมื่อตกลงพื้น

ใน ค.ศ. 1947 Sutton ได้ทำการพัฒนาสมการการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศโดยใช้สมมติฐานของการแจกแจงแบบ Gaussian ทั้งในแนวนอนและในแนวตั้งและมีการคำนวณผลของการสะท้อนเมื่อพุ่มกระทบพื้น (Sutton, 1947a, 1947b)



ภาพที่ 5 การแพร่กระจายแบบ Gaussian เมื่อมลพิษถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด

ที่มา: University of Colorado (2003)

เมื่อมีการประกาศใช้ข้อบังคับและกฎหมายด้านการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้น เกิดการพัฒนาการแบบจำลองการแพร่กระจายของมลพิษอย่างกว้างขวางมาตั้งแต่ปี 1960 จนถึงปัจจุบัน มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงเวลานี้ โดยพื้นฐานของแบบจำลองทั้งหมดมาจากสมการสมบูรณของการแพร่กระจายแบบ Gaussian สำหรับมลพิษแบบพลุมนลอยจากแหล่งกำเนิดแบบต่อเนื่อง โดยมีรูปแบบการแพร่กระจายเป็นการแจกแจงปกติในแนวแกนดังในภาพที่ 5 สำหรับสมการมาตรฐานเป็นดังสมการที่ 1 (Beychok, 2005; Turner, 1967)

$$C = \frac{Q}{u} \frac{f}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \frac{g1 + g2 + g3}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \quad (1)$$

โดยที่ f = ค่าการแพร่กระจายในแนวระดับ, เมตร

$$= \exp \left[-y^2 / (2\sigma_y^2) \right]$$

g = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่ง $= g1 + g2 + g3$

$g1$ = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งโดยไม่มีการสะท้อนกลับ

$$= \exp \left[-(z - H)^2 / (2\sigma_z^2) \right]$$

$g2$ = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งจากการสะท้อนกลับจากพื้นที่

$$= \exp \left[-(z + H)^2 / (2\sigma_z^2) \right]$$

$g3$ = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งจากการสะท้อนกลับจากอินเวอร์ชัน

$$= \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \exp \left[-\frac{(z-H-2mL)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z+H+2mL)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right. \\ \left. + \exp \left[-\frac{(z+H-2mL)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z-H+2mL)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

C = ความเข้มข้นสารมลพิษ, กรัม/ลูกบาศก์เมตร

Q = อัตราการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที

u = ความเร็วลมในแนวระดับตามแนวแกน x , เมตร/วินาที

H = ความสูงของพุ่มเหนือระดับพื้นดิน, เมตร

σ_y = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการแพร่กระจายมลพิษในแนวระดับ, เมตร

σ_z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการแพร่กระจายมลพิษในแนวดิ่ง, เมตร

L = ความสูงจากระดับพื้นดินถึงฐานของชั้นอินเวอร์ชัน, เมตร

สำหรับค่าของ σ_y และ σ_z เป็นความสัมพันธ์กับความคงตัวของบรรยากาศและระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดรับมลพิษ ส่วนปัจจัยสำคัญที่มีผลกับการแพร่กระจายของมลพิษจากแบบจำลองนี้มีสองปัจจัยคือ ระดับความสูงของแหล่งกำเนิดและความปั่นป่วนของสภาพบรรยากาศ ถ้าสภาพความปั่นป่วนของบรรยากาศมีมากจะทำให้เกิดการแพร่กระจายได้ดีกว่า ความเข้มข้นที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองโดยปกติจะถูกนำไปหาเส้นความเข้มข้นเท่าเพื่อพิจารณารูปแบบและระดับการแพร่กระจายของมลพิษ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้านต่าง ๆ กับพื้นที่ที่สนใจ

นอกเหนือจากสมการที่ 1 ข้างต้นแล้วเราสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปเพื่อใช้ทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่จุด x, y, z ใด ๆ ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดที่มีอัตราการแพร่ระบายสารมลพิษ Q ที่ระดับความสูง H ได้ดังในสมการที่ 2

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศที่พิกัด x, y, z ใด ๆ , กรัม/ลูกบาศก์เมตร

Q = อัตราการแพร่กระจายมลพิษจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที

σ_y = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการแพร่กระจายมลพิษในแนวแกน y , เมตร

σ_z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการแพร่กระจายมลพิษในแนวแกน z , เมตร

u = ความเร็วลมที่ระดับความสูงปลายปล่อง, เมตร/วินาที

H = ความสูงของพลุม มีค่าเท่ากับ $h_s + \Delta h$, เมตร

h_s = ความสูงของแหล่งกำเนิด, เมตร

Δh = ความสูงจากการยกตัวของพลุมหลังออกจากแหล่งกำเนิด, เมตร

x = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดตามแนวทิศทางลม, เมตร

y = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดในแนวระดับตั้งฉากกับทิศทางลม, เมตร

z = ความสูงจากระดับพื้นดิน, เมตร

ค่าที่ต้องทราบเพื่อทำนายความเข้มข้นตามสมการที่ 2 นอกจากอัตราการแพร่ระบายมลพิษแล้ว ก็คือค่า σ_y และ σ_z โดยค่าเหล่านี้ขึ้นกับสภาพความคงตัวของบรรยากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเร็วลม ปริมาณแสงอาทิตย์และปริมาณเมฆ

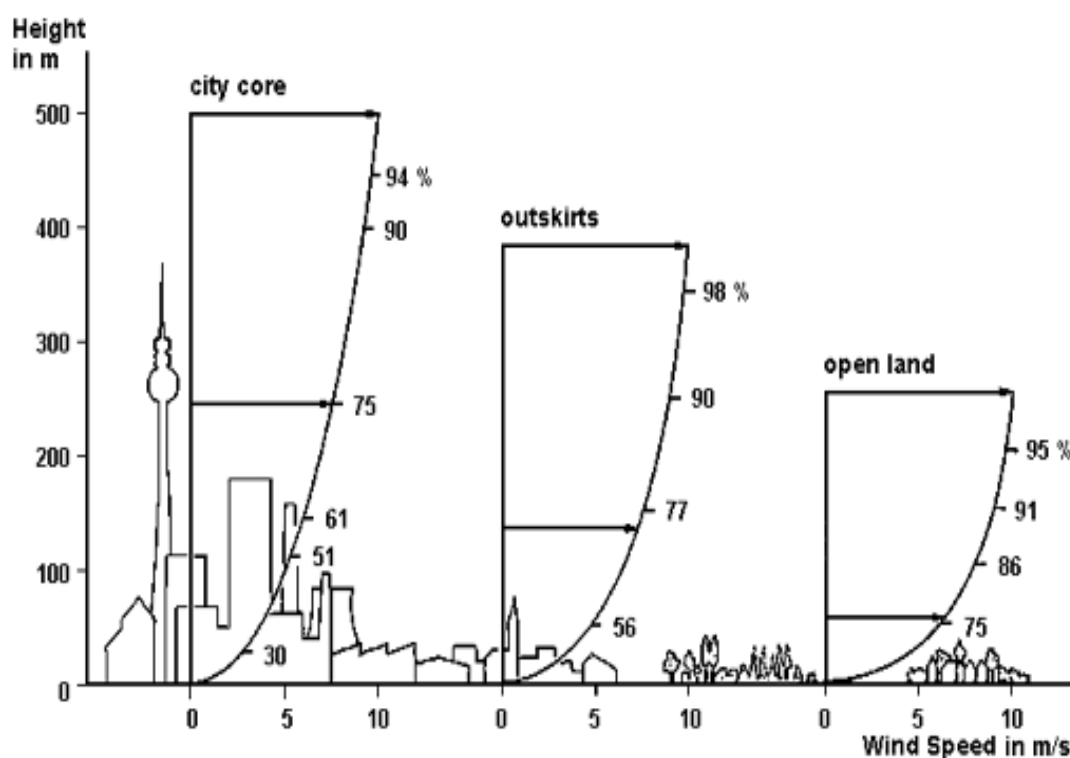
4.2.2 สมมติฐานของแบบจำลองแบบ Gaussian

สมการการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศแบบ Gaussian เป็นสมการแบบจำลองที่มีสูตรชัดเจนและมีข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายแบบโค้งปกติ ประกอบ ทำให้ใช้งานง่ายและมีความถูกต้องสูงแต่ต้องพิจารณาภายใต้ข้อจำกัดดังต่อไปนี้เท่านั้น

- ก. ความเร็วลมและทิศทางลมคงที่
- ข. ใช้ได้ดีในช่วงระยะทาง 100-2000 เมตร จากแหล่งกำเนิด
- ค. เมื่อมลพิษทางอากาศถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดจะต้องลอยขึ้นจนถึงจุดสมดุลแล้วพัดไปตามทิศทางลม โดยรักษาระดับความสูงที่จุดสมดุลนั้นคงที่ตลอด
- ง. ช่วงเวลาที่ใช้แบบจำลองต้องมากกว่า 10 นาทีขึ้นไป
- จ. มลพิษทางอากาศต้องไม่เปลี่ยนสภาพหรือตกลงสู่พื้นดิน หากกระทบพื้นดินต้องสะท้อนกลับหมด
- ฉ. แหล่งกำเนิดมลพิษและสภาพทางอุตุนิยมวิทยาต้องคงที่เสมอ เพราะแบบจำลองนี้เป็นแบบสภาวะคงตัวในช่วงเวลาที่คำนวณ หากไม่คงที่ ต้องแบ่งเป็นช่วงที่คงที่ แล้วคำนวณไปที่ละครั้ง
- ช. การคำนวณทำได้แต่ละครั้งในทิศทางลมเพียงทิศทางเดียว โดยให้ทิศทางลมไปในแนวแกน x เสมอ

4.2.3 ความเร็วลมที่ระดับปลดปล่อยมลพิษ

การเคลื่อนที่ของอากาศใกล้ผิวโลกจะช้าลง โดยผลของความเสียดทานจากความเรียบของพื้นผิว เป็นผลให้เกิดความแตกต่างกันของความเร็วลมที่ความสูงต่าง ๆ ของชั้นบรรยากาศ เรียกว่า Planetary boundary layer ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 200-300 เมตร ไปจนถึงหลายกิโลเมตรเหนือผิวโลก ความสูงนี้สำหรับบรรยากาศแบบไม่คงตัวมีค่ามากกว่าบรรยากาศแบบคงตัว ดังนั้นสารมลพิษสามารถฟุ้งกระจายในสภาพไม่คงตัวได้มากกว่าจึงทำให้ความเข้มข้นสารมลพิษที่ไปถึงน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากความแปรปรวนของสภาพบรรยากาศไม่คงตัว ก็อาจทำให้บางเวลาระดับมลพิษในที่หนึ่งของสภาพบรรยากาศไม่คงตัวอาจจะสูงเกินกว่าสภาพบรรยากาศแบบคงตัวได้ โดยผลของสภาพพื้นที่ที่มีต่อความเร็วลมแสดงดังในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของลักษณะพื้นผิวต่อความเร็วลมในแต่ละระดับความสูง

ที่มา: วราวุธ (2543)

ค่าความเร็วลมที่ใช้ในสมการการแพร่กระจายเป็นค่าเฉลี่ยของลมที่ผ่านพุ่ม ในทุกกรณีเนื่องจากไม่สามารถมีข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาได้ครบ จึงใช้ความเร็วลมที่ปลายปล่องเป็นตัวแทน แต่อย่างไรก็ตามค่าความเร็วลมที่ระดับปลายปล่องก็เป็นค่าที่มักจะไม่มี การตรวจวัด จึงใช้ความเร็วลมที่ความสูงมาตรฐาน 10 เมตร ในการคำนวณความเร็วลมที่ความสูงใด ๆ ตามสมการที่ 3

$$u_s = u_{\text{ref}} \left[\frac{h_s}{h_{\text{ref}}} \right]^p \quad (3)$$

โดยที่ p = Wind Profile Exponent เป็นค่าฟังก์ชันของพื้นที่และความคงตัว

u_s = ความเร็วลมที่ระดับความสูงปลายปล่อง, เมตร/วินาที

u_{ref} = ความเร็วลมที่ระดับความสูงอ้างอิง, เมตร/วินาที

h_s = ระดับความสูงปลายปล่อง, เมตร

h_{ref} = ระดับความสูงอ้างอิง, เมตร

สำหรับค่า p ที่นำมาใช้ เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์ขึ้นอยู่ กับสภาพความคงตัวของบรรยากาศกับสภาพพื้นผิวซึ่งมีการศึกษาและกำหนดค่าออกใช้ดังในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่า Wind Profile Exponent (p) ตามความคงตัวของบรรยากาศ

ความคงตัวของบรรยากาศ	พื้นที่เมือง	พื้นที่ชนบท
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

ที่มา: U.S. EPA (1995)

4.2.4 ความคงตัวของบรรยากาศ

ความคงตัวหรือความเสถียรของบรรยากาศแบบ Pasquill-Gifford ได้ทำการจำแนกความคงตัวของบรรยากาศออกเป็น 6 ระดับตามตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การจำแนกความคงตัวของบรรยากาศแบบ Pasquill-Gifford

ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ความสูง 10 เมตร (เมตร/วินาที)	ช่วงเวลา				
	แสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน			ปริมาณเมฆในเวลากลางคืน	
	มาก ¹	ปานกลาง ²	น้อย ³	มากกว่าครึ่ง	น้อยกว่าครึ่ง
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

หมายเหตุ A = Very unstable B = Moderately unstable C = Slightly unstable
D = Neutral E = Slightly stable F = Stable

1. แสงอาทิตย์มาก ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า 143 แคลอรี/ตารางเมตร-วินาที หรือขณะที่ฟ้าโปร่ง มุมของรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า 60 องศาจากระดับพื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบ่ายของฤดูร้อน บรรยากาศจะมีการพาความร้อนมาก
2. แสงอาทิตย์ปานกลาง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 72-143 แคลอรี/ตารางเมตร-วินาที หรือขณะที่ฟ้าโปร่ง มุมของรังสีดวงอาทิตย์ 35-60 องศาจากระดับพื้น
3. แสงอาทิตย์น้อย ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า 72 แคลอรี/ตารางเมตร-วินาที หรือขณะที่ฟ้าโปร่ง มุมของรังสีดวงอาทิตย์ 15-35 องศาจากระดับพื้น
4. ในเวลากลางวัน ถ้ามีเมฆในช่วง 5/8-7/8 จะทำให้ ระดับแสงอาทิตย์มาก ลดลงเป็นแสงอาทิตย์ปานกลาง และระดับแสงอาทิตย์ปานกลาง ลดลงเป็นแสงอาทิตย์น้อย
5. ความคงตัว D เกิดขึ้นเมื่อฟ้าครึ้มมีเมฆ 8/8 ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน

ที่มา: U.S. EPA (1995)

4.3 แบบจำลอง ISCST

แบบจำลอง Industrial Source Complex (ISC) เป็นแบบจำลองที่ถือว่าเป็นแบบจำลองมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศจากอุตสาหกรรม สามารถใช้ได้กับแหล่งกำเนิดหลายแหล่งและหลายแบบพร้อมกัน โดยใช้กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ประกอบไปด้วยข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และการปกคลุมของเมฆรายชั่วโมง ร่วมกับข้อมูลความสูงผสมในช่วงเวลาเช้าและช่วงเวลากลางคืน มีการใช้งานอยู่ 2 รูปแบบ คือแบบช่วงระยะสั้นใช้แบบจำลอง Industrial source complex–short term (ISCST) ส่วนแบบช่วงระยะยาวใช้แบบจำลอง Industrial source complex–long term (ISCLT) โดยมีหลักการเดียวกันแต่ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างกัน โดย ISCLT ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ย 1 ปี จาก Stability array ส่วน ISCST ใช้ข้อมูลรายชั่วโมง

4.3.1 สมการการแพร่กระจายของแบบจำลอง ISCST

แบบจำลอง ISCST ทำนายความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด โดยใช้สมการ Gaussian plume model ในสภาวะคงตัว นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มปัจจัยของการตกในฤดูฝนและฤดูแล้งของอนุภาค อิทธิพลจากการกวาดลงต่ำของพุ่ม รวมทั้งสามารถใส่ข้อมูลแหล่งกำเนิดได้ทั้งแบบจุด แบบเส้น แบบปริมาตร และแบบพื้นที่โดยมีรูปแบบสมการพื้นฐานดังในสมการที่ 4

$$X = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (4)$$

โดยที่ X = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ, ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Q = อัตราการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที

K = ค่าคงที่จากการเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้น

V = สมการการแพร่กระจายในแนวดิ่ง ซึ่งสัมพันธ์กับความสูงของแหล่งกำเนิด

การยกตัวของพุ่ม ความสูงของจุดรับมลพิษ และความสูงผสม

D = สมการการถูกทำลายโดยสิ่งแวดล้อม

u_s = ความเร็วลมที่ระดับความสูงปลายปล่อง, เมตร/วินาที

σ_y = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการแพร่กระจายมลพิษในแนวนอน, เมตร

σ_z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการแพร่กระจายมลพิษในแนวดิ่ง, เมตร

4.3.2 สมการการแพร่กระจายในแนวดิ่ง

การแพร่กระจายในแนวดิ่งเป็นผลมาจากความสูงของแหล่งกำเนิด การยกตัวของพุ่ม ความสูงของจุดรับมลพิษ และความสูงชั้นผสม โดยมีสมการดังในสมการที่ 5

$$V = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^x \left\{ \exp\left[-\frac{z_r - (2iz_i - h_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{z_r + (2iz_i + h_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{z_r - (2iz_i + h_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{z_r + (2iz_i - h_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (5)$$

โดยที่ h_e = ความสูงของพุ่มจากพื้นดิน, เมตร

Z_r = ความสูงของจุดรับมลพิษเหนือพื้นดิน, เมตร

Z_i = ความสูงของชั้นผสม, เมตร

สำหรับบรรยากาศที่เป็นแบบคงตัว สันนิษฐานว่าไม่มีขอบเขตความสูงผสม ดังนั้น จึงทำให้สมการเปลี่ยนเป็นสมการที่ 6

$$V = \frac{\sqrt{2\pi\sigma_z}}{z_i} \quad \text{โดยที่} \quad \frac{\sigma_z}{z_i} \geq 1.6 \quad (6)$$

4.3.3 ค่า σ_y ของการแพร่กระจายในแนวระดับ

ค่า σ_y ของการแพร่กระจายในแนวระดับ สามารถพิจารณาได้จากสมการซึ่งยังคงอ้างอิงกับสถานะความคงตัวของบรรยากาศและระยะทาง ดังในสมการที่ 7 และ 8

$$\sigma_y = 465.11628(x) \tan(\text{TH}) \quad (7)$$

$$\text{TH} = 0.017453293[c - d \ln(x)] \quad (8)$$

โดยที่ TH = การกระจายของพุ่มไปทางด้านข้างในแนวดิ่งฉากกับทิศทางลม, องศา

x = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดตามแนวทิศทางลม, กิโลเมตร

สำหรับการแพร่กระจายในแนวระดับที่คำนวณด้วยสมการข้างต้น เป็นค่าสำหรับพื้นที่ชนบทซึ่งถือว่าสภาพเป็นพื้นที่โล่ง ถ้ากรณีที่ต้องการคำนวณการแพร่กระจายของมลพิษในเมืองจะการใช้การคิดคำนวณค่า σ_y จากสมการในตารางที่ 15 สำหรับค่าคงที่ c และ d เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความคงตัวของบรรยากาศ สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 15 เช่นกัน

ตารางที่ 15 สมการการแพร่กระจายในแนวระดับสำหรับพื้นที่เขตเมือง และค่าพารามิเตอร์ c และ d ที่ใช้ในการคำนวณค่า σ_y สำหรับการแพร่กระจายในแนวระดับ

ความคงตัวของบรรยากาศ	ค่า σ_y (เมตร)	ค่า c	ค่า d
A	$0.32(1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$	24.1670	25.53340
B	$0.32(1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$	18.3330	1.80960
C	$0.22(1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$	12.5000	1.08570
D	$0.1(1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$	8.3330	0.72382
E	$0.11(1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$	6.2500	0.54287
F	$0.11(1.0 + 0.0004 x)^{-1/2}$	4.1667	0.36191

ที่มา: U.S. EPA (1995)

4.3.4 ค่า σ_z ของการแพร่กระจายในแนวดิ่ง

ค่า σ_z ของการแพร่กระจายในแนวดิ่ง สามารถพิจารณาได้จากสมการซึ่งยังคงอ้างอิงกับสถานะความคงตัวของบรรยากาศ ดังในสมการที่ 9

$$\sigma_z = ax^b \quad (9)$$

สำหรับค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งต้องการค่าพารามิเตอร์ a และ b ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพความคงตัวของบรรยากาศ ส่วน x เป็นระยะทางในแนวดิ่งจากจุดที่ปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์ a และ b ที่ใช้ในการคำนวณค่า σ_z สำหรับการแพร่กระจายในแนวดิ่ง

ความคงตัวของบรรยากาศ	x (กิโลเมตร)	ค่า a	ค่า b
A	<0.10	122.800	0.94470
	0.10 - 0.15	158.080	1.05420
	0.16 - 0.20	170.220	1.09320
	0.21 - 0.25	179.520	1.12620
	0.26 - 0.30	217.410	1.26440
	0.31 - 0.40	258.890	1.40940
	0.41 - 0.50	346.750	1.72830
	0.51 - 3.11	453.850	2.11660
	>3.11	-	-
B	<0.20	90.673	0.93198
	0.21 - 0.40	98.483	0.98332
	>0.40	109.300	1.09710
C	All	61.141	0.91465
D	<0.30	34.459	0.86974
	0.31 - 1.00	32.093	0.81066
	1.01 - 3.00	32.093	0.64403
	3.01 - 10.00	33.504	0.60486
	10.01 - 30.00	36.650	0.56589
	>30.00	44.053	0.51179
E	<0.10	24.260	0.83660
	0.10 - 0.30	23.331	0.81956
	0.31 - 1.00	21.628	0.75660
	1.01 - 2.00	21.628	0.63077
	2.01 - 4.00	22.534	0.57154
	4.01 - 10.00	24.703	0.50527
	10.01 - 20.00	26.970	0.46713
	20.01 - 40.00	35.420	0.37615
	>40.00	47.618	0.29592

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ความคงตัวของบรรยากาศ	x (กิโลเมตร)	ค่า a	ค่า b
F	<0.20	15.209	0.81558
	0.21 - 0.70	14.457	0.78407
	0.71 - 1.00	13.953	0.68465
	1.01 - 2.00	13.953	0.63227
	2.01 - 3.00	14.823	0.54503
	3.01 - 7.00	16.187	0.46490
	7.01 - 15.00	17.836	0.41507
	15.01 - 30.00	22.651	0.32681
	30.01 - 60.00	27.074	0.27436
	>60.00	34.219	0.21716

หมายเหตุ - สำหรับความคงตัวของบรรยากาศ A B และ C ถ้าคำนวณค่า σ_z ได้มากกว่า 5000 เมตร ให้ใช้ค่า 5000 เมตร

- สำหรับความคงตัวของบรรยากาศ A ถ้าความสูงมากกว่า 5000 เมตร ให้ใช้ค่า σ_z เท่ากับ 5000 เมตร

ที่มา: U.S. EPA (1995)

4.4 แบบจำลอง AERMOD

AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD) เริ่มต้นพัฒนาขึ้นโดยความร่วมมือระหว่าง American Meteorological Society (AMS) และ U.S. Environmental Protection Agency ตั้งคณะกรรมการร่วมกันภายใต้ชื่อว่า AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee หรือ AERMIC เพื่อร่วมกันพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเมินการแพร่กระจายสารมลพิษจากอุตสาหกรรมขึ้นมาเพื่อแทนที่แบบจำลอง ISCST โดยพัฒนาในด้านของ Planetary boundary layer (PBL) Convective boundary layer (CBL) และ Stable boundary layer (SBL) ซึ่งจะทำให้แบบจำลองมีการนำเข้าปัจจัยด้านอากาศที่มีความถูกต้องมากขึ้น (U.S. EPA, 2004a)

สภาพของบรรยากาศจะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการแพร่กระจายของสารมลพิษในชั้นขอบเขต Planetary boundary layer ซึ่งหมายถึงชั้นขอบเขตของบรรยากาศที่อยู่ติดพื้นผิวโลกซึ่งได้รับอิทธิพลจากพื้นผิวโลก โดยปกติมีช่วงตั้งแต่ 100 เมตรในเวลากลางคืน ไปจนถึง 1-2 กิโลเมตรในเวลากลางวัน โดยแบ่งออกเป็น Convective boundary layer (CBL) ซึ่งเป็นชั้นขอบเขตที่เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากการพาความร้อน กับ Stable boundary layer (SBL) ซึ่งเป็นชั้นขอบเขตของบรรยากาศที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากการพาความร้อน ได้รับเพียงผลของแรงเสียดทานจากผิวโลกเท่านั้น

แบบจำลอง AERMOD จัดเป็น Steady state plume model ซึ่งในชั้น SBL จะมีการแพร่กระจายแบบ Gaussian ทั้งในแนวระดับและในแนวดิ่ง แต่สำหรับ CBL จะมีการแพร่กระจายแบบ Gaussian ในแนวระดับ ส่วนในแนวดิ่งจะมีการแพร่กระจายแบบ Bi-Gaussian โดยใช้ Probability density function (pdf)

แบบจำลอง AERMOD มีชุดคำสั่งย่อยทั้งหมด 3 โปรแกรม คือ AERMOD เป็นแบบจำลองหลัก มีโปรแกรม AERMET สำหรับประมวลผลข้อมูลด้านภูมิอากาศ เพื่อสร้างโปรไฟล์ของอากาศและโปรแกรม AERMAP สำหรับประมวลผลข้อมูลของภูมิประเทศ หลังจากนั้นจะนำมาประมวลผลรวมกันด้วยโปรแกรม AERMOD เพื่อหาระดับความเข้มข้นสารมลพิษที่แพร่กระจายไปในบรรยากาศ

4.4.1 สมการพื้นฐานในแบบจำลอง AERMOD

$$C_T\{x_r, y_r, z_r\} = f \cdot C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\} + (1 - f) \cdot C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\} \quad (10)$$

โดยที่ $C_T\{x_r, y_r, z_r\}$ = ความเข้มข้นรวมทั้งหมด

$C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\}$ = ความเข้มข้นจากพุ่มในแนวระดับ

$C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\}$ = ความเข้มข้นจากพุ่มในแนวดิ่ง

$\{x_r, y_r, z_r\}$ = ตำแหน่งของผู้รับมลพิษ

f = สัดส่วนมวลของมลพิษที่อยู่ในพุ่มในแนวระดับ

หรืออาจเขียนสมการพื้นฐานได้เป็น

$$C\{x, y, z\} = (Q/\bar{u})P_y\{y; x\}P_z\{z; x\} \quad (11)$$

โดยที่ Q = อัตราการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด, กรัม/วินาที
 $\tilde{u}$ = ความเร็วลมที่ระดับความสูงแนวแกนพุ่ม, เมตร/วินาที
 P_y = ฟังก์ชันของการแพร่กระจายของพุ่มในแนวระดับ
 P_z = ฟังก์ชันของการแพร่กระจายของพุ่มในแนวดิ่ง

4.4.2 สมการคำนวณความเข้มข้นในชั้น SBL

$$C_s\{x_r, y_r, z\} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zs}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) \right] \quad (12)$$

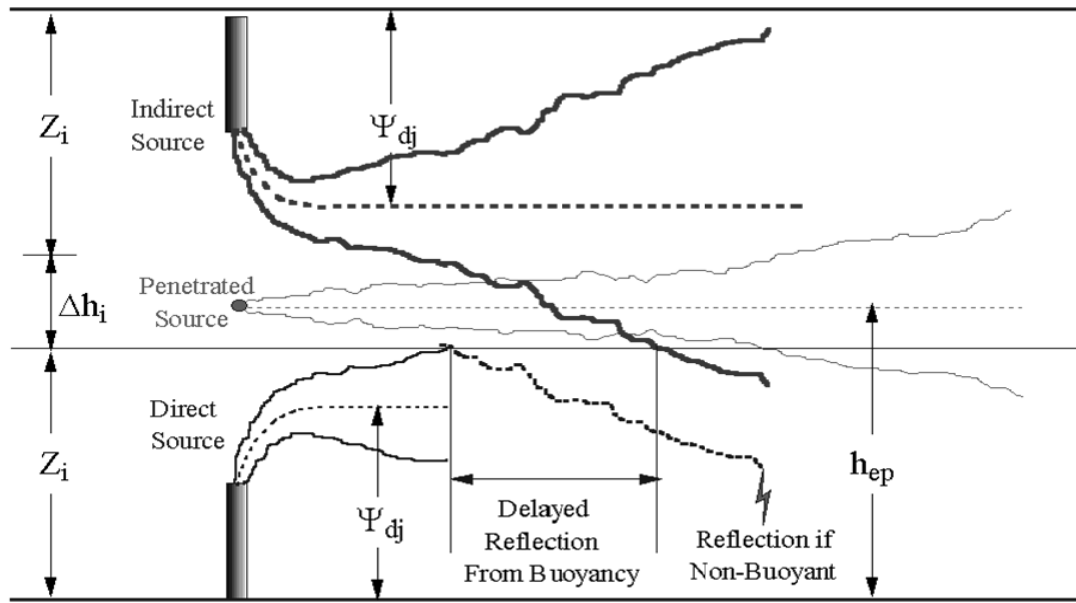
โดยที่ σ_{zs} = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งของชั้นขอบเขต SBL, เมตร
 F_y = ฟังก์ชันการแพร่กระจายในแนวระดับ
 h_{es} = ความสูงของพุ่ม, เมตร
 z_{ieff} = ความสูงของชั้นที่เกิดการสะท้อนในชั้นขอบเขต SBL

4.4.3 สมการคำนวณความเข้มข้นในชั้น CBL

สมการคำนวณความเข้มข้นในชั้น CBL ประกอบด้วยสมการย่อยเพื่อคำนวณความเข้มข้นของพุ่มโดยรวมจากแหล่งกำเนิดจริง พุ่มจากแหล่งกำเนิดเสมือน และพุ่มที่ทะลุผ่านชั้นความสูงผสมทั้งจากแหล่งกำเนิดจริงและแหล่งกำเนิดเสมือน ดังแสดงในภาพที่ 7

$$C_c\{x_r, y_r, z_r\} = C_d\{x_r, y_r, z_r\} + C_r\{x_r, y_r, z_r\} + C_p\{x_r, y_r, z_r\} \quad (13)$$

โดยที่ C_d = ความเข้มข้นของพุ่มที่เกิดจากแหล่งกำเนิดจริง
 C_r = ความเข้มข้นของพุ่มที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสมือน
 C_p = ความเข้มข้นของพุ่มที่ทะลุผ่านชั้นความสูงผสมทั้งจากแหล่งกำเนิดจริงและแหล่งกำเนิดเสมือน



ภาพที่ 7 แหล่งกำเนิดแต่ละประเภทในชั้นขอบเขต CBL ของแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: U.S. EPA (2004a)

ก. สมการคำนวณความเข้มข้นจากแหล่งกำเนิดจริง

$$C_d\{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z - \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right] \quad (14)$$

โดยที่ Q = อัตราการปลดปล่อยสารมลพิษ, กรัม/วินาที

$\tilde{u}$ = ความเร็วลมที่ระดับความสูงปล่อย, เมตร/วินาที

F_y = ฟังก์ชันการแพร่กระจายตามแนวระดับ

$$F_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

Ψ_{dj} = ความสูงรวมของพุ่มจากแหล่งกำเนิดจริง

Z_i = ความสูงของชั้นผสม, เมตร

σ_{zj} = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่ง (Up draft $j=1$, Down draft $j=2$)

λ_j = สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักการกระจาย (Up draft $j=1$, Down draft $j=2$)

ข. สมการคำนวณความเข้มข้นจากแหล่งกำเนิดเสมือน

$$C_r\{x_r, y_r, z\} = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z + \Psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z - \Psi_{rj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right] \quad (15)$$

$$\text{โดยที่ } \Psi_{rj} = \Psi_{dj} - \Delta h_i$$

Δh_i = การยกตัวของพุ่ม จากแหล่งกำเนิดเสมือน, เมตร

ค. สมการคำนวณความเข้มข้นของพุ่มที่ทะลุผ่านชั้นความสูงผสมทั้งจากแหล่งกำเนิดจริง และแหล่งกำเนิดเสมือน

$$C_p\{x_r, y_r, z\} = \frac{Q(1 - f_p)}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zp}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z - h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{ep} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) \right] \quad (16)$$

โดยที่ σ_{zp} = ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งของชั้นขอบเขต CBL, เมตร

F_y = ฟังก์ชันการแพร่กระจายในแนวระดับ

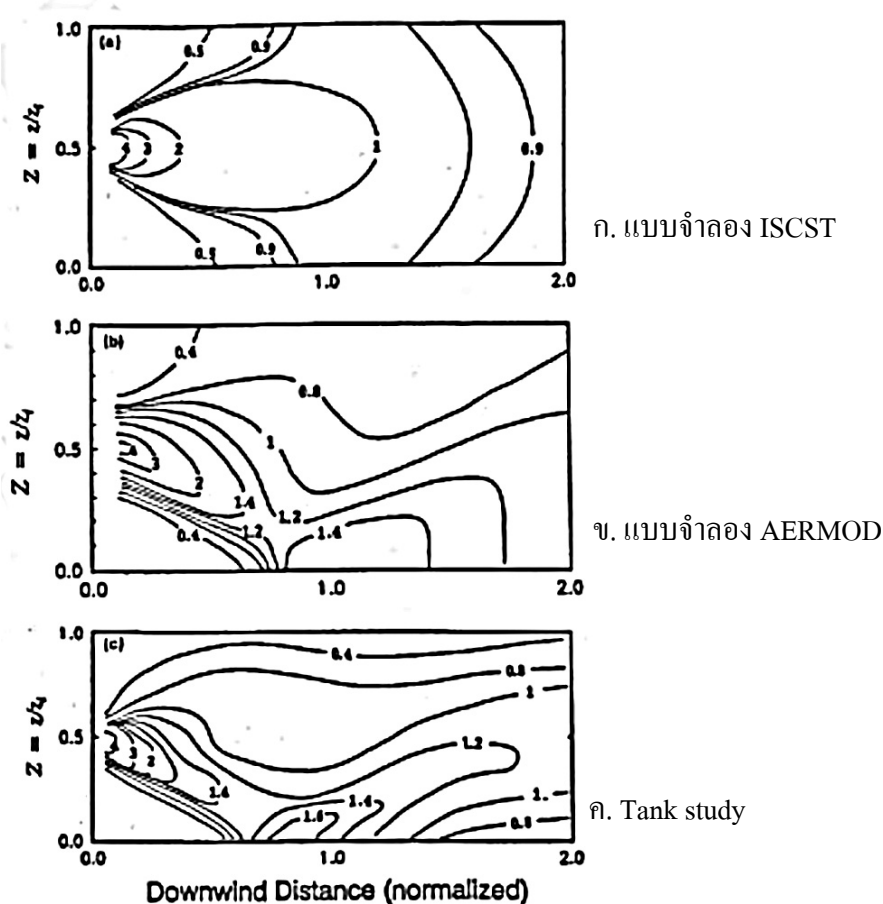
h_{ep} = ความสูงของกลางพุ่มของพุ่มที่ทะลุผ่านชั้นความสูงผสมทั้งจากแหล่งกำเนิดจริงและแหล่งกำเนิดเสมือน, เมตร

Z_{ieff} = ความสูงของชั้นที่เกิดการสะท้อนในชั้นขอบเขต SBL

4.5 ข้อแตกต่างของแบบจำลอง AERMOD กับแบบจำลอง ISCST

แบบจำลองทั้งสองมีพื้นฐานที่เหมือนกันคือเป็น Gaussian dispersion plume model แต่มีความแตกต่างกันโดยเฉพาะในเรื่องของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่นำเข้าสู่แบบจำลอง โดยการพิจารณาข้อมูลภูมิอากาศนำเข้าในแบบจำลอง AERMOD ใช้ทฤษฎีของบรรยากาศที่อยู่ติดผิวโลก (Similarity theory) ในขณะที่แบบจำลอง ISCST ใช้ทฤษฎีของ Pasquill-Gifford stability

การพิจารณาความเร็วลมพบว่าแบบจำลอง AERMOD พิจารณาความเร็วลมทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ส่วนแบบจำลอง ISCST พิจารณาความเร็วลมเฉพาะในแนวระดับเท่านั้น สำหรับค่าความสูงผสม แบบจำลอง ISCST ใช้วิธีการของ Holzworth ในการคำนวณค่าความสูงผสม ส่วนในแบบจำลอง AERMOD ใช้การคำนวณจากข้อมูลอากาศพื้นผิว ซึ่งเมื่อมีการพิจารณาการแพร่กระจายในแนวดิ่งทำให้รูปแบบการกระจายในแนวดิ่งไม่เป็นแบบ Gaussian แต่เป็นรูปแบบ Bi-Gaussian ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายในแนวดิ่งในชั้นที่มีการพาความร้อน (Convective boundary layer) ระหว่างแบบจำลอง AERMOD กับ ISCST ดังในภาพที่ 8 จะพบว่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งของทั้งสองแบบจำลองมีรูปแบบต่างกัน ซึ่งการนำไปใช้จะให้ผลที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะสภาพพื้นที่ที่มีความสลับซับซ้อน



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายในแนวดิ่งของแบบจำลอง AERMOD
แบบจำลอง ISCST และการศึกษาจากการตรวจวัด

ที่มา: Brode (2006)

สิ่งที่สำคัญสิ่งหนึ่งสำหรับแบบจำลองทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ คือการพิจารณาความคงตัวของบรรยากาศ สำหรับแบบจำลอง AERMOD ใช้ทฤษฎี Richardson Number ในการพิจารณา โดยดูจากค่าของ Monin-Obukhov length ซึ่งพิจารณาความสูงจากผิวโลกที่มีความเร็วลมที่สมดุลกับแรงลอยตัวหรือมีค่า Richardson Number เท่ากับ 1 มีผลต่อความคงตัวของบรรยากาศ ส่วนแบบจำลอง ISCST ใช้หลักการของ Stability parameter ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 14 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบความคงตัวของบรรยากาศจากวิธีการทั้งสองได้ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าความคงตัวของบรรยากาศโดยวิธี Monin-Obukhov Length และวิธีของ Pasquill-Gifford

Pasquill-Gifford	Monin-Obukhov length (m.)	
	Roughness 0.1 m.	Roughness 0.5 m.
A	-12.5	-16
B	-25	-50
C	-65	-100
D	∞	∞
E	+65	+100
F	+30	+50

ที่มา: ปรับปรุงจาก Brode (2006)

ในประเทศไทยมีการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลอง AERMOD กับ ISCST ตามการศึกษาของ สรณ (2548) โดยศึกษาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง ทั้งแบบพื้นที่ราบและพื้นที่ที่มีความซับซ้อน พบว่าแบบจำลองทั้งสองให้ผลที่ต่างกัน โดยแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดีกว่า แต่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากผลการตรวจวัดจริงมากกว่าแบบจำลอง ISCST ในขณะที่การศึกษาของ Sax and Isakov (2003) พบว่าแบบจำลอง AERMOD สามารถทำนายความเข้มข้นสารมลพิษได้ดีกว่าแบบจำลอง ISCST โดยเฉพาะกับมลพิษที่มีระดับต่ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าในกรณีพื้นที่ไม่ซับซ้อนแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดใกล้เคียงกับแบบจำลอง ISCST แต่กรณีพื้นที่ที่มีความซับซ้อน แบบจำลอง AERMOD จะให้ความเข้มข้นสูงสุดต่ำกว่าค่าจากแบบจำลอง ISCST

นอกจากนี้แบบจำลอง AERMOD ยังเป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยข้อมูลลักษณะพื้นผิว ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพื้นที่ประกอบด้วยค่า Albedo (r) ค่า Bowen ratio (B_0) และค่า Surface roughness length (Z_0) ซึ่งค่าเหล่านี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง

Albedo (r) เป็นค่าที่แสดงถึงการสะท้อนของการแผ่รังสีจากพื้นผิวกลับสู่บรรยากาศ โดยไม่มีการดูดซับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ที่ดินและฤดูกาล มีค่าระหว่าง 0.1 สำหรับพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ ถึง 0.9 สำหรับช่วงหิมะตกใหม่ ๆ

Bowen ratio (B_0) เป็นค่าแสดงถึงดัชนีของความชื้นที่พื้นผิว ซึ่งเป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Sensible heat flux) ไปเป็นความร้อนแฝง (Latent heat flux) ใช้เพื่อพิจารณาภาวะที่เกิดการพาความร้อน (Convective Condition) โดยทั่วไปในเวลาเที่ยงวันมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ที่เหนือผิวน้ำไปจนถึง 10.0 ที่เหนือทะเลทราย ขึ้นอยู่กับการใช้ที่ดิน ฤดูกาล และความชื้น

Surface roughness length (Z_0) เป็นค่าแสดงความสูงที่ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์ ขึ้นอยู่กับลักษณะความราบเรียบหรือขรุขระของพื้นผิว ซึ่งไม่ใช่ค่าความสูงของสิ่งปกคลุม มีค่าได้ตั้งแต่ น้อยกว่า 0.001 เมตร เหนือผิวน้ำที่สงบ ไปจนถึง 1 m หรือมากกว่าที่เหนือพื้นที่ป่าหรือพื้นที่เมือง

ค่าลักษณะของพื้นผิวทั้ง 3 ค่ามีปัจจัยขึ้นอยู่กับสภาพการใช้ที่ดินและฤดูกาลเป็นหลัก โดยมีค่าที่แนะนำโดย U.S. EPA (2004b) ดังในตารางที่ 18 ซึ่งมีสภาพการใช้ที่ดินหลักทั้งแหล่งน้ำ พื้นที่ป่า พื้นที่เกษตรกรรม พุ่มหญ้า พื้นที่เมือง และทะเลทราย ในแต่ละฤดูกาล โดยฤดูใบไม้ผลิคือช่วงที่เริ่มมีการเพาะปลูกหรือในช่วง 1-2 เดือนหลังน้ำแข็งหมดไป ฤดูร้อนคือช่วงฤดูเพาะปลูกที่อุดมสมบูรณ์ พื้นที่เป็นสีเขียวชอุ่ม ฤดูใบไม้ร่วงเป็นฤดูกาลที่เริ่มมีน้ำแข็ง ต้นไม้ผลัดใบจนเหลือใบน้อย แต่ยังไม่มีหิมะ และฤดูหนาวคือช่วงที่หิมะปกคลุม อุณหภูมิต่ำกว่าเยือกแข็ง

การนำค่าไปใช้ต้องพิจารณาตามสภาพการใช้ที่ดินและให้ความสำคัญกับการพิจารณาในด้านฤดูกาลประกอบ เนื่องจากค่าที่แนะนำเป็นค่าในประเทศเขตอบอุ่น ซึ่งมีฤดูใบไม้ร่วงซึ่งเริ่มมีน้ำแข็งและฤดูหนาวซึ่งมีหิมะตก แต่ในประเทศไทยภูมิอากาศในฤดูหนาวมีอากาศเย็นแต่ไม่มีหิมะ การนำค่าไปใช้จึงควรพิจารณาสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ประกอบ เช่น ค่า Surface roughness length ในช่วงที่มีการเพาะปลูกควรมีค่าสูงกว่าในสภาพที่พื้นดินถูกปล่อยร้างโดยไม่มีพืชปกคลุม

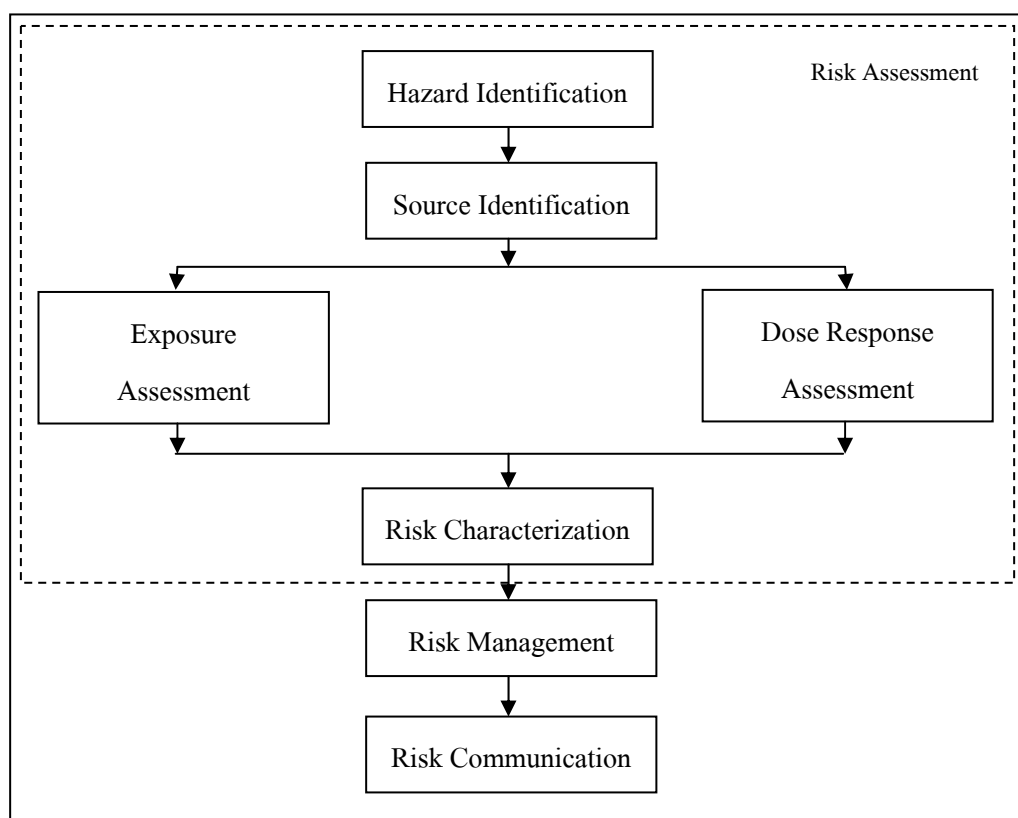
ตารางที่ 18 ค่า Albedo, Bowen ratio และ Surface roughness length ที่แนะนำสำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง AERMOD

	Albedo (r)				Bowen ratio (B_0)								Surface roughness length (Z_0)							
					ความชื้นต่ำ				ความชื้นปกติ				ความชื้นสูง							
	ใบไม้ ผลิ	ร้อน	ใบไม้ ร่วง	หนาว	ใบไม้ ผลิ	ร้อน	ใบไม้ ร่วง	หนาว	ใบไม้ ผลิ	ร้อน	ใบไม้ ร่วง	หนาว	ใบไม้ ผลิ	ร้อน	ใบไม้ ร่วง	หนาว	ใบไม้ ผลิ	ร้อน	ใบไม้ ร่วง	หนาว
แหล่งน้ำธรรมชาติ	0.12	0.10	0.14	0.20	0.1	0.1	0.1	2.0	0.1	0.1	0.1	1.5	0.1	0.1	0.1	0.3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ป่าไม้ผลัดใบ	0.12	0.12	0.12	0.50	1.5	0.6	2.0	2.0	0.7	0.3	1.0	1.5	0.3	0.2	0.4	0.5	1.00	1.30	0.80	0.50
ป่าสน	0.12	0.12	0.12	0.35	1.5	0.6	1.5	2.0	0.7	0.3	0.8	1.5	0.3	0.2	0.3	0.3	1.30	1.30	1.30	1.30
หนองน้ำ, บึง	0.12	0.14	0.16	0.30	0.2	0.2	0.2	2.0	0.1	0.1	0.1	1.5	0.1	0.1	0.1	0.5	0.20	0.20	0.20	0.05
พื้นที่การเกษตร	0.14	0.20	0.18	0.60	1.0	1.5	2.0	2.0	0.3	0.5	0.7	1.5	0.2	0.3	0.4	0.5	0.03	0.20	0.05	0.01
ทุ่งหญ้า	0.18	0.18	0.20	0.60	1.0	2.0	2.0	2.0	0.4	0.8	1.0	1.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.05	0.10	0.01	0.001
พื้นที่เมือง	0.14	0.16	0.18	0.35	2.0	4.0	4.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.00	1.00	1.00	1.00
ทะเลทราย	0.30	0.28	0.28	0.45	5.0	6.0	10.0	10.0	3.0	4.0	6.0	6.0	1.0	5.0	2.0	2.0	0.30	0.30	0.30	0.15

ที่มา: ปรับปรุงจาก U.S. EPA (2004b)

5. การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) เป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการแก้ไขและลดผลกระทบของปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์โอกาสเกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของสารเคมีจากสถานที่กำจัดมูลฝอยอันตราย โรงงานเก่าหรือพื้นที่ที่ได้รับสารเคมีรั่วไหล สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบเพื่อกำหนดทางเลือกในการป้องกันผลกระทบหรือวิเคราะห์โอกาสเสี่ยงจากไฟไหม้และการระเบิด เป็นต้น องค์ประกอบสำคัญของการวิเคราะห์ความเสี่ยงประกอบไปด้วย การบ่งชี้อันตราย การประเมินความเสี่ยง การจัดการความเสี่ยง และการสื่อสารความเสี่ยง โดยการใช้วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม ความน่าจะเป็นและสถิติ ดังในภาพที่ 9 (Louvar, 1998)



ภาพที่ 9 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสี่ยง

ที่มา: Louvar (1998)

ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงมีคำจำกัดความสำคัญที่เกี่ยวข้องอย่างแรกคือ อันตราย (Hazard) หมายถึงแหล่งกำเนิดของความเสี่ยง เช่นสารเคมีที่เป็นพิษจัดว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งยังไม่เกิดความเสี่ยงจนกว่าจะมีคนมาได้รับสารพิษนี้ การบ่งชี้อันตราย (Hazard identification) เป็นขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ความเสี่ยง เป็นกระบวนการเพื่อรวบรวมอันตรายที่มีโอกาสเกิดกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ความเสี่ยง (Risk) คือความน่าจะเป็นที่คนหนึ่งคนใด ประชากร หรือระบบนิเวศน์จะได้รับความเป็นพิษของสารหรือสภาวะความเป็นพิษ ส่วนการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) เป็นขั้นตอนที่สองของการวิเคราะห์ความเสี่ยง เพื่อประเมินความรุนแรงและโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากการได้รับอันตราย ซึ่งประกอบไปด้วยการประเมินถึงชนิด ปริมาณและอันตรายของแหล่งกำเนิด รวมทั้งความถี่ที่มีโอกาสเกิดขึ้น การประเมินการได้รับอันตรายของผู้รับซึ่งครอบคลุมถึงความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับอันตราย และสุดท้ายเป็นการประเมินการตอบสนองต่ออันตรายที่ได้รับซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออวัยวะหรือเนื้อเยื่อตลอดจนจำนวนประชากรที่จะได้รับผลกระทบ

การจัดการความเสี่ยง (Risk management) เป็นการใช้ผลจากการประเมินความเสี่ยงเพื่อประเมินทางเลือก แนวทางตัดสินใจและกระบวนการดำเนินการตามการตัดสินใจ โดยปกติแล้วการจัดการความเสี่ยงจะมีรูปแบบอยู่สองแบบคือ ประการแรกคือไม่ต้องทำอะไรทั้งสิ้น หรือทางที่สองคือต้องมีการดำเนินการเพื่อการปรับปรุง

5.1 Noncarcinogenic effect

การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับพิษแบบไม่ใช่สารก่อมะเร็งใช้ค่าอ้างอิงจาก Reference doses ซึ่งเขียนย่อได้เป็น RfDs โดยขึ้นอยู่กับช่องทางได้รับสารพิษ เช่นทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความวิกฤตของการได้รับพิษ และระยะเวลาของการได้รับพิษว่าเป็นแบบเรื้อรัง กึ่งเรื้อรังหรือการได้รับเฉียบพลัน โดยค่า RfDs แบบเรื้อรังเป็นการประมาณระดับการได้รับสารในแต่ละวันของประชากรเฉลี่ย ซึ่งการประเมินพิษแบบเรื้อรังนิยมใช้ในระยะเวลาได้รับสารต่อเนื่องตั้งแต่ 7 ปีไปจนตลอดช่วงอายุ สำหรับกึ่งเรื้อรังใช้การวิเคราะห์กับช่วงระยะเวลารับสารพิษตั้งแต่ 2 สัปดาห์ไปจนถึง 7 ปี

การกำหนดค่า RfDs ของสารแต่ละตัวใช้ข้อมูลความเป็นพิษในมนุษย์จากการศึกษาเป็นพื้นฐานในการประเมินค่าระดับต่ำที่สุดที่ทำให้กลุ่มทดลองแสดงอาการเรียกว่า Lowest-observed-adverse-effect level (LOAEL) นอกจากนี้ยังมีการใช้การศึกษาจากค่าสูงสุดที่ทำให้กลุ่มทดลองไม่เกิดอาการพิษ ซึ่งเรียกว่า No-observed-adverse-effect level (NOAEL) โดยปกติค่านี้จะเป็นค่าที่ใช้เป็นหลักในการคำนวณค่า RfDs ซึ่งในบางครั้งการศึกษาก็มีเพียง LOAEL แต่ไม่มีการศึกษา NOAEL เมื่อจะนำ LOAEL มาหาค่า RfDs ต้องมีการปรับแก้ค่าความไม่แน่นอนโดยสมการที่ 17

$$RfDs = \frac{NOAEL \text{ or } LOAEL}{(UF_1 \cdot UF_2 \cdot UF_3 \cdot UF_4 \cdot MF)} \quad (17)$$

โดยที่ UF_1 = มีค่าเท่ากับ 10 เนื่องจากความไม่แน่นอนของการตอบสนองของประชากร

UF_2 = มีค่าเท่ากับ 10 ถ้าทำการประเมินจากการทดลองในสัตว์ทดลอง

UF_3 = มีค่าเท่ากับ 10 ถ้าทำการศึกษแบบกึ่งเรื้อรังแทนที่จะเป็นแบบเรื้อรัง

UF_4 = มีค่าเท่ากับ 10 ถ้าใช้ค่าจาก LOAEL

MF = มีค่าระหว่าง 1-10 เป็นค่าความไม่แน่นอนซึ่งตัดสินใจจากผู้เชี่ยวชาญ

สารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX มีการศึกษาค่า RfDs เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงแบบไม่ใส่สารก่อมะเร็ง เพื่อเป็นการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารพิษเรื้อรัง ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่า Reference dose ของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

สาร	การเกิดพิษ	Oral RfDo (mg/kg-d)	Inhalation RfDi (mg/kg-d)	Inhalation RfCi mg/m ³	ความเชื่อมั่น
เบนซีน	เม็ดเลือดขาวลดลง	4.0×10^{-3}	8.6×10^{-3}	3.1×10^{-2}	ปานกลาง
โทลูอิน	พิษต่อระบบประสาท	8×10^{-2}	1.4	5.2	ต่ำ
เอทิลเบนซีน	พิษต่อตับและไต	1×10^{-1}	2.9×10^{-1}	1.1	สูง
ไซลีน	ประสาทวิงเวียน	2×10^{-1}	2.9×10^{-2}	1×10^{-1}	ปานกลาง

ที่มา: ปรับปรุงจาก Integrated Risk Information System (2007)

ค่า Hazard quotient (HQ) หรือ Hazard Index (HI) เป็นค่าที่แสดงถึงระดับความเสี่ยงแบบไม่ใช้สารก่อมะเร็ง ซึ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับพิษเรื้อรังโดยเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าการรับสารนั้น ๆ เทียบกับค่า RfDs ถ้าค่ามีมากกว่า 1 ซึ่งจัดว่าเป็นค่าวิกฤตแสดงว่ามีความเสี่ยงอันตรายและต้องได้รับการแก้ไข

ปริมาณการรับสารพิษเข้าสู่ร่างกายมีได้หลายทางทั้งทางปากโดยอาหารและน้ำดื่ม ผิวหนัง และทางเดินหายใจ ซึ่งปริมาณการรับสารพิษจากการหายใจสามารถหาได้จากสมการที่ 18

$$I = \frac{CRt_E f_E D_t}{W_B t_{avg}} \quad (18)$$

โดยที่ I = ปริมาณที่ได้รับจากการหายใจ, mg/kg-day

C = ความเข้มข้นของสารเคมี, mg/m³

R = อัตราการหายใจ, m³/day

สำหรับค่าสูงสุดในผู้ใหญ่ ปกติมีค่า 30 m³/day เฉลี่ย 20 m³/day

t_E = ระยะเวลาที่ได้รับสารพิษ, hr/day

f_E = ความถี่ที่ได้รับสารพิษ, day/year

D_t = ช่วงระยะเวลาที่ได้รับพิษ, year

W_B = น้ำหนักตัว, kg (โดยเฉลี่ยคิดที่ 70 kg)

t_{avg} = ระยะเวลาเฉลี่ยของการได้รับพิษ, day (มีค่าเท่ากับ D_t x 365)

5.2 Carcinogenic effect

U.S. EPA ได้กำหนดว่าสารก่อมะเร็งเป็นสารที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์จากเพียงเซลล์เดียว แล้วเป็นตัวชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจนควบคุมไม่ได้ เกิดเป็นการเจ็บป่วยในที่สุด จากคำจำกัดความนี้ทำให้ไม่สามารถกำหนดระดับของค่าต่ำสุดที่เริ่มทำให้เกิดอาการได้เนื่องจากไม่มีระดับการได้รับพิษใดที่ไม่ทำให้เกิดการตอบสนองต่อมะเร็ง ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดการประเมินความเสี่ยงออกเป็นสองส่วน ขั้นแรกคือการพิจารณาจำแนกระดับความชัดเจนของการเป็นสารก่อมะเร็ง แล้วทำการประเมินโดยใช้ค่า Slope factor สำหรับระดับความชัดเจนของการเป็นสารก่อมะเร็งตามการจำแนกของ U.S. EPA แสดงในตารางที่ 20

Slope factor เป็นค่าชี้วัดต่อการประเมินระดับความชัดเจนของการเป็นสารก่อมะเร็ง โดยเป็นตัวชี้ถึงความสามารถของการก่อให้เกิดมะเร็ง เมื่อสารนั้นมีการจำแนกอยู่ในระดับ A, B1, B2 และบางครั้งในกลุ่ม C ซึ่งค่า Slope factor เป็นค่าชี้บ่งเชิงปริมาณถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ได้รับกับผลที่เกิดขึ้น โดยการคาดประมาณความน่าจะเป็นสูงสุดของคนหนึ่งคนใดที่จะก่อให้เกิดมะเร็งสำหรับการได้รับสารพิษนั้นในตลอดช่วงชีวิต

ตารางที่ 20 การจำแนกระดับการเป็นสารก่อมะเร็ง

กลุ่ม	ระดับความชัดเจนของการเป็นสารก่อมะเร็ง
A	เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
B1 หรือ B2	มีความน่าจะเป็นว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ B1: ยังมีข้อจำกัดของข้อมูลในการทดสอบกับมนุษย์ B2: จำแนกชัดเจนว่าเกิดพิษกับสัตว์ทดลอง แต่ยังมีข้อมูลไม่พอเพียง หรือยังไม่ชัดเจนพอสำหรับการเกิดพิษกับมนุษย์
C	มีโอกาสเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ได้
D	ไม่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
E	จำแนกได้ชัดเจนว่าไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

ที่มา: ปรับปรุงจาก Louvar (1998)

สำหรับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX เมื่อประเมินความเสี่ยงแบบสารก่อมะเร็ง โดยพิจารณาจากข้อมูลของ Integrated Risk Information System ตาม U.S. EPA (1986) พบว่ามีระดับของความชัดเจนของสารก่อมะเร็งสำหรับเบนซีนอยู่ในระดับ A คือเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ซึ่งมีค่า Oral slope factor เท่ากับ $1.5 \times 10^{-2} \text{ (mg/kg-d)}^{-1}$ ค่า Drinking water unit risks เท่ากับ $4.4 \times 10^{-7} \text{ (}\mu\text{g/l)}^{-1}$ ค่า Inhalation unit risks เท่ากับ $2.2 \times 10^{-6} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$ ในขณะที่โทลูอินและเอทิลเบนซีน ถูกจำแนกอยู่ในระดับ D คือไม่จำแนกว่าจัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ สำหรับไซลีนนั้นยังไม่มี การจำแนก

6. พื้นที่ศึกษา

สถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตั้งอยู่บริเวณหมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 8 ต. คลองขวาง อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี ห่างจากที่ว่าการอำเภอไทรน้อยประมาณ 4.5 กิโลเมตร สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางไม่เกิน 2 เมตร

อุดร (2545) ได้ศึกษาสภาพพื้นที่ของสถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี มีเนื้อที่ประมาณ 58 ไร่ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม เดิมเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ มีความลึกประมาณ 10 เมตร ใช้วิธีเทกองมูลฝอยลงในบ่อดิน เริ่มใช้เมื่อปี พ.ศ. 2525 ในปี พ.ศ. 2545 มีสภาพเป็นกองมูลฝอยขนาดใหญ่เต็มพื้นที่ และมีความสูงจากพื้นดินเดิมโดยเฉลี่ย 10 เมตร รองรับปริมาณมูลฝอยชุมชนไม่ต่ำกว่า 843 ตันต่อวัน มีปริมาณมูลฝอยสะสมประมาณ 2 ล้านตัน

สภาพแวดล้อมโดยรอบ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว มีชุมชน 2 แห่ง ตั้งอยู่ห่างจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยเป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร ไปทางทิศตะวันออกและทิศเหนือ แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญ ได้แก่ คลองนาหมอนและคลองห้าร้อยซึ่งอยู่ห่างจากสถานที่กำจัดมูลฝอยไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออก เป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร มีการใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคและการเกษตรกรรม

อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากกองมูลฝอยเก่าในพื้นที่ศึกษาโดยวิธีการ Surface Emission Isolation Flux Chamber บนพื้นผิวมูลฝอยและโดยผ่านหน้าดินกลบทับแบบต่าง ๆ พบว่ามีอัตราการแพร่กระจายบนพื้นผิวมูลฝอย $1.97 \text{ g/m}^2\text{-d}$ และเมื่อมีหน้าดินกลบทับประเภทดินเหนียวมีค่า 1.30 และ $1.32 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 21

การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยจากกองมูลฝอยเก่าซึ่งใช้งานมากกว่า 25 ปี ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2549 โดย มณีรัตน์ (2549) พบว่าสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ซึ่งเป็นกลุ่มหลักที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษามีอัตราการแพร่กระจายจากกองมูลฝอยสู่บรรยากาศ โดยเก็บตัวอย่างก๊าซที่ระดับความลึก 1-4 เมตร พบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก อัตราการแพร่กระจายถึงผิวกองของเบนซีนมีค่าเท่ากับ $21.84 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{-d}$ โทลูอิน และ ไซลีน มีอัตราการแพร่กระจายเฉลี่ยเท่ากับ $14.52 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{-d}$ และ $5.26 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ตามลำดับ สำหรับเอทิลเบนซีนมีอัตราการแพร่กระจายต่ำสุด คือ $0.79 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 21 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากกองมูลฝอยเทศบาลกลางแจ้งผ่านหน้าดิน
กลบทับชนิดต่าง ๆ

หน้าดินกลบทับ	อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทน ($\text{g/m}^2\text{-d}$)					
	บนพื้นผิวมูลฝอย		ผ่านชั้นหน้าดินกลบทับ			
			ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
CL	0.75-3.57	1.97	0.35-2.05	1.30	0.59-1.65	1.32
S+W	0.52-3.64	2.21	0.14-5.21	2.27	0.22-2.36	1.03
S+L	0.12-3.56	2.23	0.47-3.82	2.38	0.16-1.47	0.89
S+V+W	1.55-9.78	4.42	0.21-2.43	1.41	0.44-1.59	0.82
S+V+L	0.78-9.20	3.06	0.18-2.20	0.82	0.31-1.40	0.56

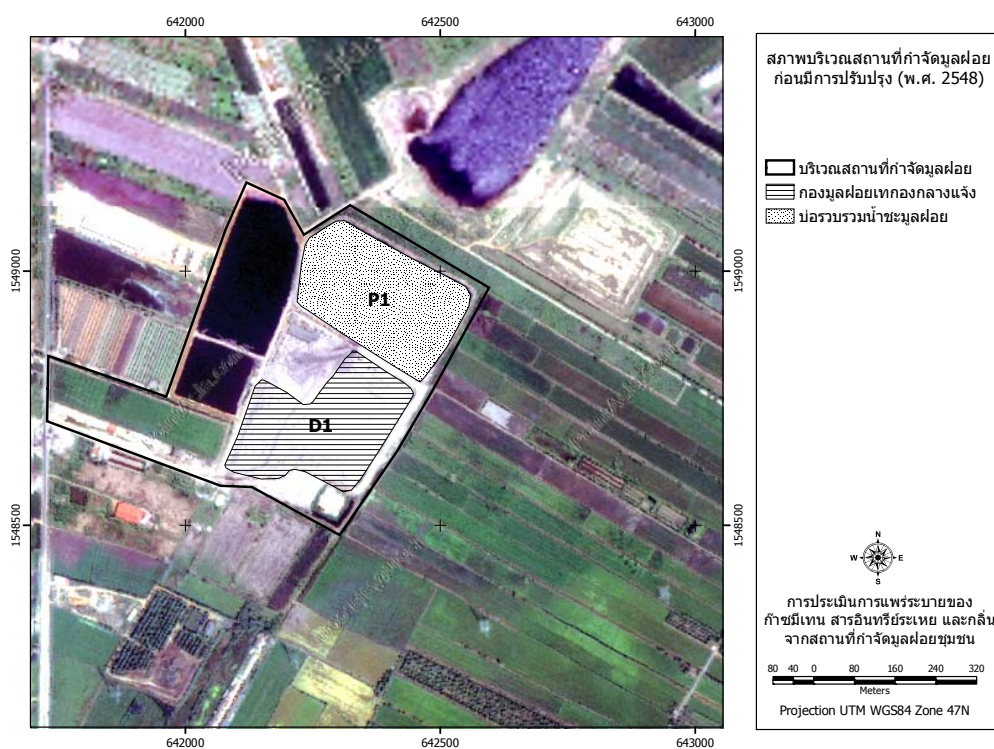
หมายเหตุ CL = ดินเหนียว S = ดินร่วนปนทราย V = ปลูกรูพืช
W = รดด้วยน้ำบาดาล L = รดด้วยน้ำชะมูลฝอย

ที่มา: ปรับปรุงจาก Chiemchaisri *et al.* (2006)

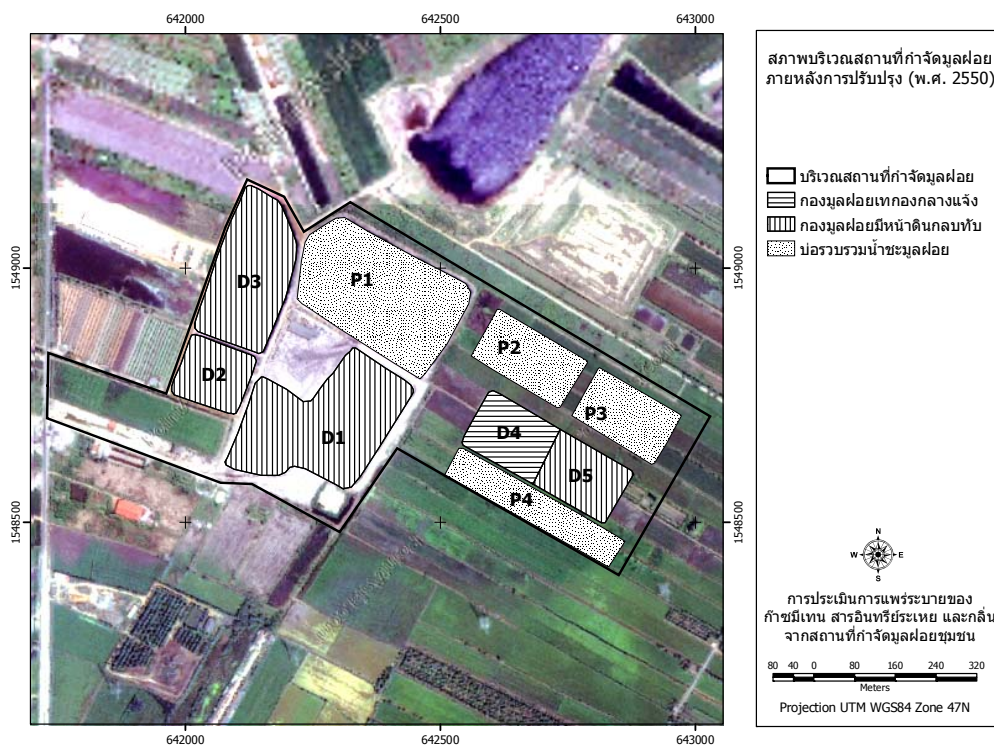
ตารางที่ 22 อัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยเทศบาลกลางแจ้ง
ที่ระดับความลึก 1–4 เมตร

ชนิดสาร	อัตราการแพร่กระจายเฉลี่ย ($\times 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{-d}$) ตามความลึกเมื่อเทียบกับผิวกอง			
	1 m	2 m	3 m	4 m
เบนซีน	0.46	3.66	9.23	21.84
โทลูอิน	0.14	2.90	5.65	14.52
เอทิลเบนซีน	0.00	0.00	0.00	0.79
ไซลีน	0.00	0.00	0.00	5.26

ที่มา: มณีรัตน์ (2549)



ก. สภาพพื้นที่กำจัดมูลฝอยก่อนมีการปรับปรุง (ปี พ.ศ. 2548)



ข. สภาพพื้นที่กำจัดมูลฝอยในปัจจุบันหลังการปรับปรุง (ปี พ.ศ. 2550)

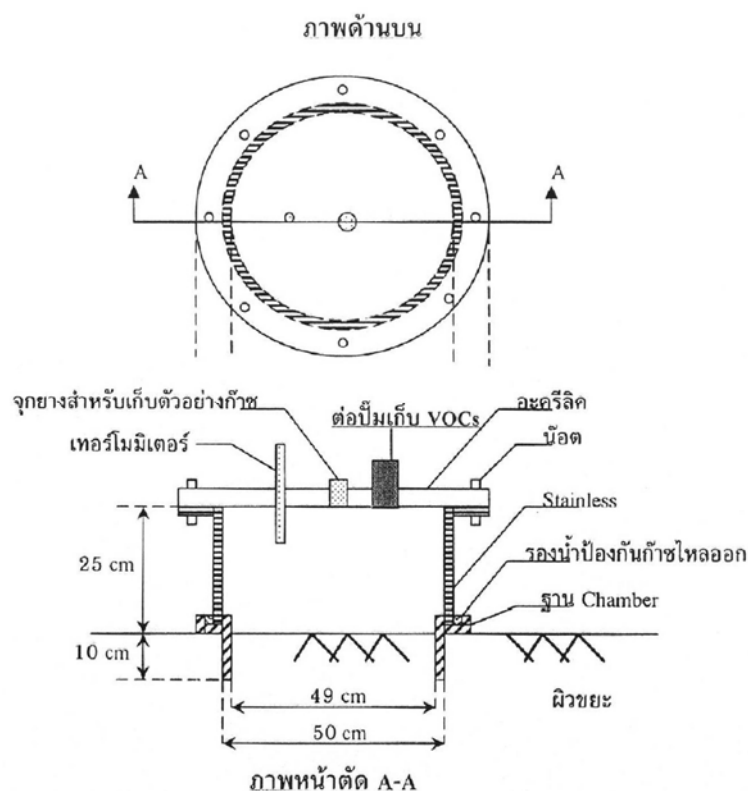
ภาพที่ 10 สภาพพื้นที่กำจัดมูลฝอยในสถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

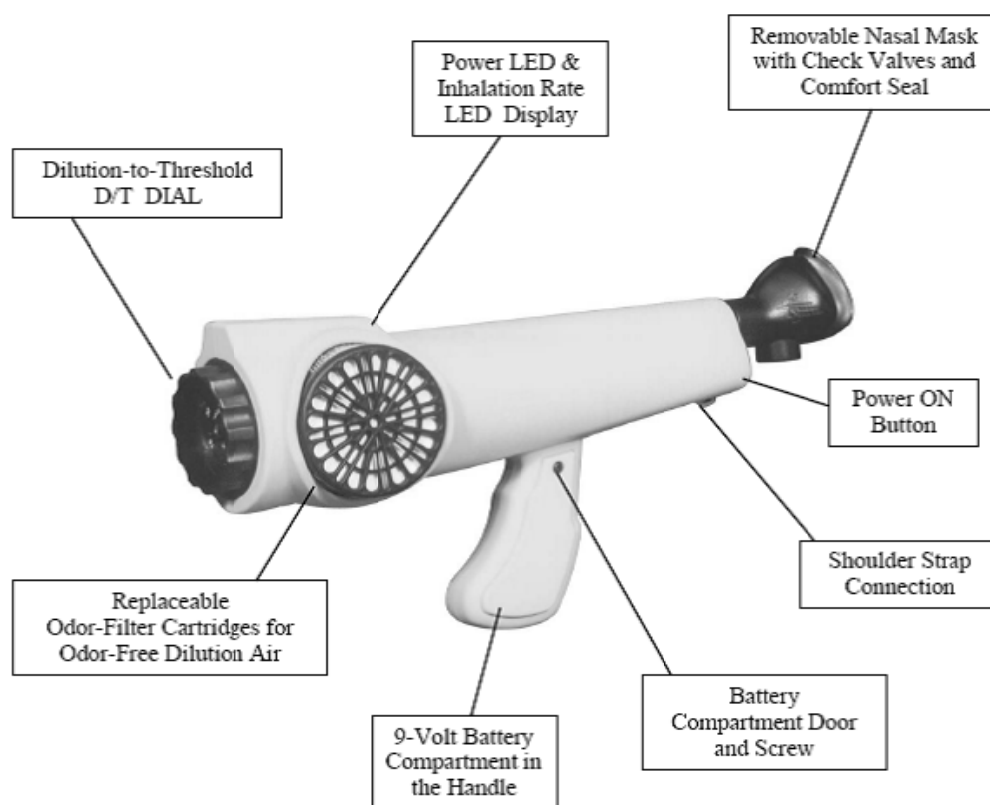
1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหยและกลิ่น

1.1 อุปกรณ์ครอบฟลักซ์เพื่อเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Surface Emission Isolation Flux Chamber แบบ Static Mode โดยอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ทำจาก Stainless Steel เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เมตร สูง 0.25 เมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ด้านบนปิดด้วยแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 19 มิลลิเมตร มีช่องสำหรับเก็บก๊าซ 1 ช่อง ช่องสำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์ 1 ช่อง และอีก 1 ช่องสำหรับเก็บ BTEX ส่วนฐานทำจาก Stainless steel สูง 0.10 เมตร ด้านขอบบนทำร่องตามแนวขอบนอกของเส้นรอบวง เพื่อวาง Chamber ปิดล้อมพื้นที่ 0.188 ตารางเมตร ปริมาตรภายใน 0.049 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 11 อุปกรณ์ครอบฟลักซ์เพื่อเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Surface Emission Isolation Flux Chamber

1.2 เครื่องวัดกลิ่นภาคสนาม Nasal Ranger Field Olfactometer ของ St. Croix Sensory, Inc. ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดกลิ่นโดยอาศัยหลักการเจือจางอากาศที่มีกลิ่นด้วยอากาศสะอาด ดังรูปเครื่องมือในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 อุปกรณ์วัดกลิ่นภาคสนาม Nasal Ranger Field Olfactometer

ที่มา: St. Croix Sensory, Inc. (2005)

1.3 หลอดเก็บตัวอย่างอากาศ (Adsorbent tube) ของ SKC ชนิด Coconut Charcoal ใช้หลอดชาร์โคลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตรภายนอก 6 มิลลิเมตร ยาว 7 เซนติเมตร ภายในบรรจุแอคติเวตเต็ดชาร์บอน (Activated coconut shell charcoal) ขนาด 20/40 mesh ปริมาณ 150 มิลลิกรัม โดยแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหน้า 100 มิลลิกรัม ส่วนหลัง 50 มิลลิกรัม ซึ่งถูกแบ่งด้วยยูรีเทนโฟมหนา 2 มิลลิเมตร และมียูรีเทนโฟมหนา 3 มิลลิเมตร กั้นระหว่างแอคติเวตเต็ดชาร์บอน ส่วนหลังกับปลายทางออกของหลอด ส่วนปลายทางเข้าของหลอดมีใยแก้ว (Glass wool) ปิดทับ ค่าความดันลด (Pressure drop) ของหลอดชาร์โคลจะต้องไม่เกิน 1 นิ้วปรอทที่อัตราการไหลของอากาศ 1 ลิตรต่อนาที

1.4 ปุ่มสำหรับเก็บตัวอย่างอากาศของ SKC รุ่น AirLite Sample Pump ที่มีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 1.0 L/min

1.5 เครื่อง Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890 ใช้ Electron Capture Detector (ECD) โดยตั้งอุณหภูมิ Injector, Detector และ Column เท่ากับ 105, 150 และ 35 °C ตามลำดับ และตั้งอัตราการไหลของก๊าซ He 65 มิลลิลิตรต่อนาที

1.6 เครื่อง Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-14B ใช้ Flame Ionization Detector (FID) ติดตั้งคอลัมน์ Stainless Steel, O.D. 1/8" x 8' ภายในบรรจุด้วย Carboxen B/100-1000 (60/80) ตั้งอุณหภูมิ Injector, Detector และ Column เท่ากันที่ 200 °C และตั้งอัตราการไหลของก๊าซ N₂ 30 มิลลิลิตรต่อนาที

1.7 หลอดเก็บตัวอย่างก๊าซ เป็นหลอดสุญญากาศขนาด 6 ml ของ Vacutainer

1.8 เทอร์โมมิเตอร์ขนาด 100 องศาเซลเซียส

1.9 เทปชนิด Teflon ขนาด 0.5 นิ้ว

1.10 ที่ตัดหลอดแก้ว (Cutter for glass tubing)

1.11 ขวดแก้วพร้อมฝาปิด (Vial) ขนาด 1.8 มิลลิลิตร

1.12 ไมโครปิเปต ขนาด 100-1,000 ไมโครลิตร ของ Witeg

1.13 คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide) AR Grade

1.14 ก๊าซที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์สูง 99.99 %, ก๊าซไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์สูง 99.99 % และอากาศความบริสุทธิ์สูง 99.99 %

2. อุปกรณ์ศึกษาแบบจำลองเพื่อทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ

2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผล 32 บิต ที่มีความเร็วหน่วยประมวลผลกลางไม่น้อยกว่า 1.8 GHz ซึ่งมีพื้นที่เก็บข้อมูลไม่น้อยกว่า 80 GB

2.2 โปรแกรมแบบจำลอง AERMOD ประกอบด้วยชุดโปรแกรมย่อย AERMOD Version 07026, AERMET Version 06341 และ AERMAP Version 06341 พัฒนาขึ้นโดย U.S. EPA

2.3 โปรแกรมแบบจำลอง ISCST Version 02035 พัฒนาขึ้นโดย U.S. EPA

2.4 โปรแกรม PCRAMMET Version 99169 พัฒนาขึ้นโดย U.S. EPA

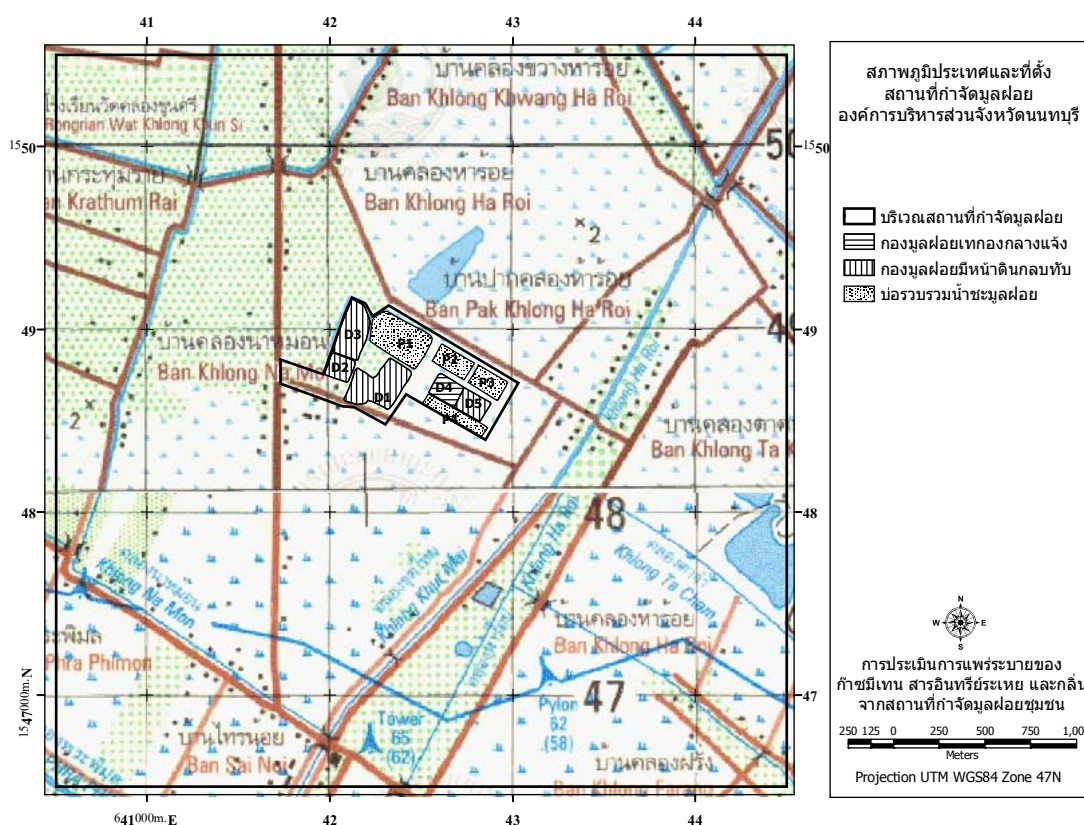
2.5 โปรแกรม WRPLOT View Version 5.3 พัฒนาขึ้นโดย Lakes Environmental

2.6 โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView Version 3.3 และ ArcGIS Version 9.0 พัฒนาขึ้นโดย ESRI, Inc.

2.7 โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS Version 13 พัฒนาขึ้นโดย SPSS, Inc.

3. พื้นที่ศึกษา

สถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ตั้งอยู่บริเวณหมู่ที่ 2 บ้านคลองห้าร้อย และหมู่ที่ 8 บ้านกระทุ่มราย ต. คลองขวาง อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี



ภาพที่ 13 สถานที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

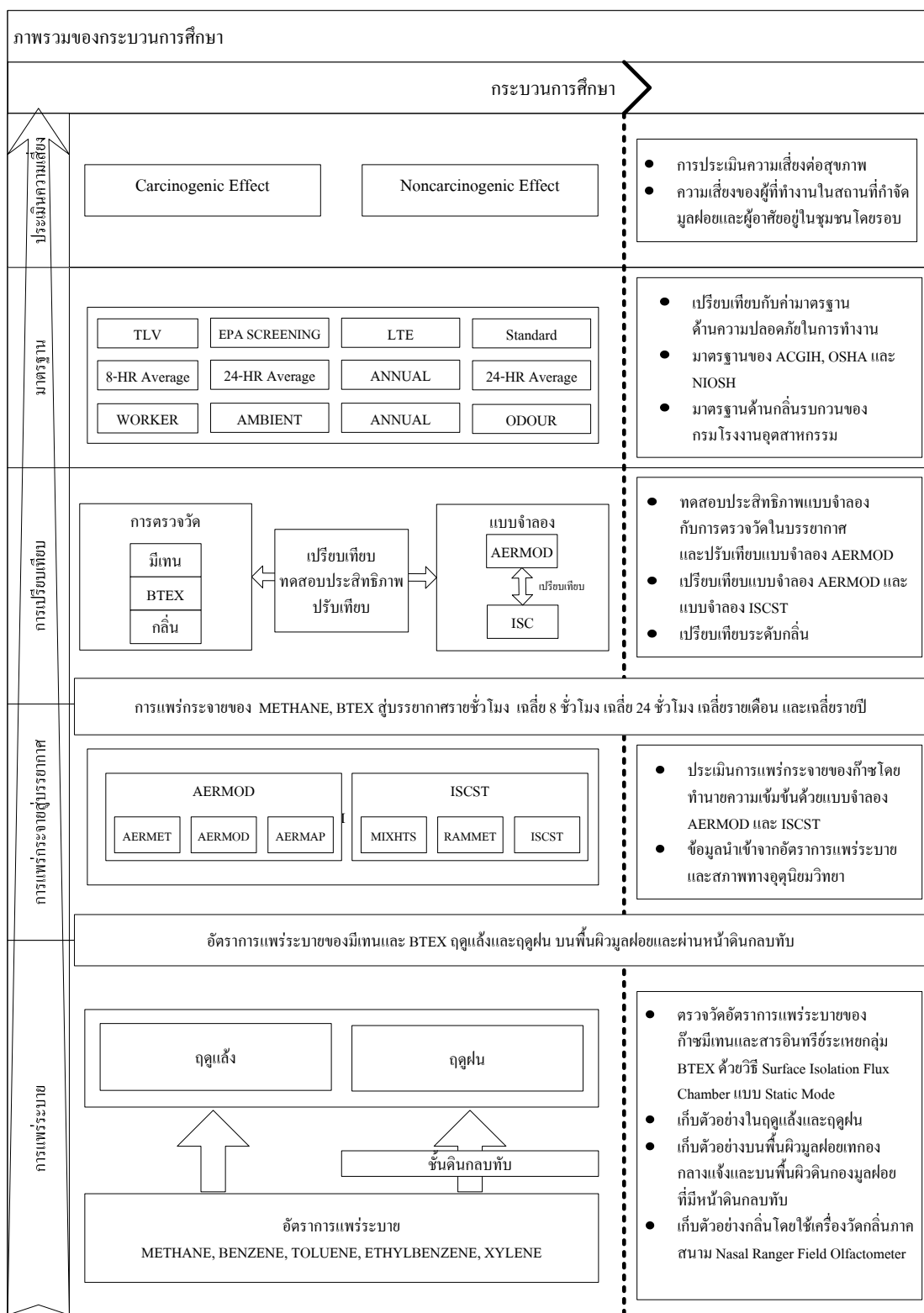
วิธีการ

การศึกษาประกอบไปด้วยการตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX บนกองมูลฝอยกองใหม่ที่เปิดใช้งาน โดยวิธี Surface Emission Isolation Flux Chamber แบบ Static Mode เปรียบเทียบพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งและพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีดินกลบทับ โดยเก็บตัวอย่างทั้งในฤดูแล้งและในฤดูฝนเพื่อศึกษาอิทธิพลของฤดูกาล แล้วนำอัตราการแพร่กระจายเข้าสู่แบบจำลองเพื่อทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศซึ่งเป็นที่นิยมใช้คือ แบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST เพื่อศึกษาการแพร่กระจายสู่บรรยากาศโดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย และประเมินระดับผลกระทบและความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของผู้ทำงานในสถานที่กำจัดมูลฝอยและผู้อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการแพร่กระจายของกลิ่นจากกองมูลฝอยโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดกลิ่นภาคสนามร่วมกับแบบจำลองทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศ เพื่อศึกษาผลกระทบด้านกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอยโดยแสดงภาพรวมทั้งหมดของการศึกษาแสดงไว้ดังในภาพที่ 14

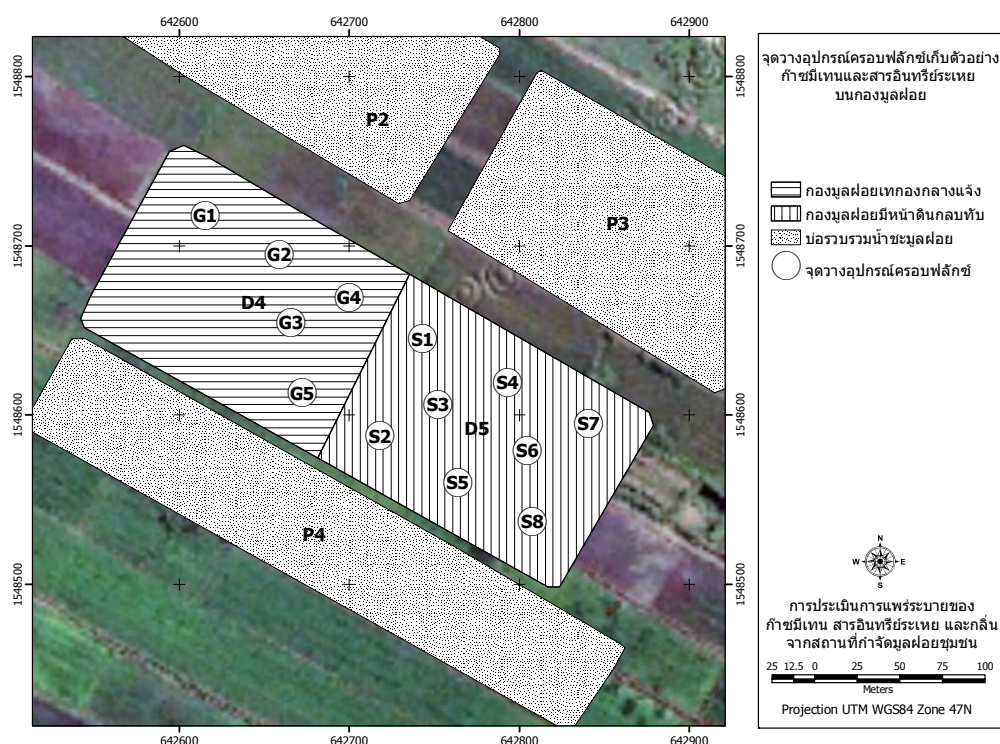
1. การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหย

การแพร่กระจายของก๊าซจากกองมูลฝอยเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Surface Emission Isolation Flux Chamber แบบ Static Mode โดยครอบอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ ซึ่งทำจาก Stainless Steel แล้วทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ โดยทำการตรวจวัดบนกองมูลฝอย D4 และ D5 ซึ่งเป็นกองมูลฝอยกองใหม่ดังในภาพที่ 15 ซึ่งเริ่มดำเนินการใช้ในปลายปี พ.ศ. 2549 โดยกองมูลฝอยจะมีขนาดกว้าง 120 เมตร ยาว 320 เมตร ในด้านยาวครึ่งหนึ่งจะแบ่งออกเป็นกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งเป็นมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ การใช้งานจะทิ้งมูลฝอยเทกองกลางแจ้งจนมีระดับสูงกว่าด้านที่มีดินกลบทับประมาณ 2-3 เมตร แล้วจึงใช้ดินกลบทับแล้วนำมูลฝอยไปกำจัดอีกด้านหนึ่ง

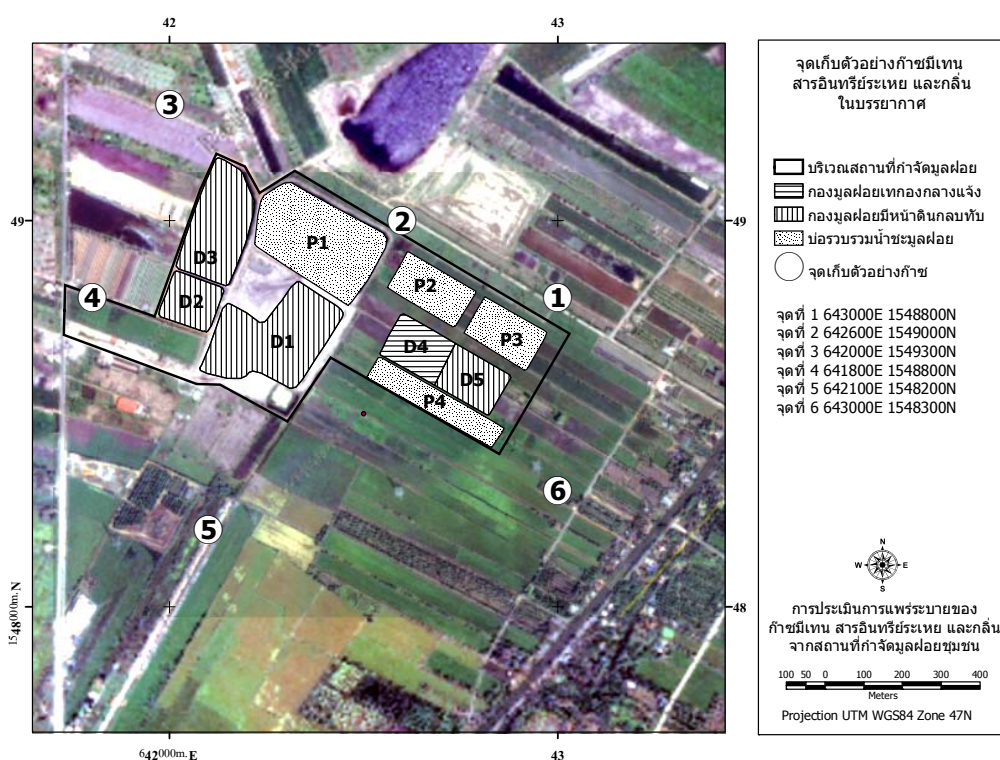
การเก็บตัวอย่างเพื่อหาอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหย ทำการเก็บตัวอย่างทั้งบนมูลฝอยเทกองกลางแจ้ง (กองมูลฝอย D4) และกองมูลฝอยที่มีดินกลบทับ (กองมูลฝอย D5) โดยบนกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้งมีจุดวางอุปกรณ์ครอบฟลักซ์จำนวน 5 จุด โดยให้รหัสจุดเก็บตัวอย่างขึ้นต้นด้วย G คือจุด G1-G5 ในภาพที่ 15 ในขณะที่ด้านของกองมูลฝอยที่มีดินกลบทับกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 8 จุด ครอบคลุมกองมูลฝอยทั้งกอง โดยมีรหัสจุดเก็บตัวอย่างขึ้นต้นด้วย S ตำแหน่งดังแสดงในจุดเก็บตัวอย่าง S1-S8 ในภาพที่ 15



ภาพที่ 14 ภาพรวมของกระบวนการศึกษา



ภาพที่ 15 จุดวางอุปกรณ์ครอบปลั๊กเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยบนกองมูลฝอย



ภาพที่ 16 จุดเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหยและกลิ่นในบรรยากาศ

ในส่วนของการเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศ กำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศไว้ 6 จุด โดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอยดังแสดงในภาพที่ 16 โดยจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นทิศทางใต้ลม ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 และ 4 เป็นทิศทางเหนือลมและอยู่ด้านติดกับถนน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 และ 6 เป็นจุดที่อยู่ใกล้ชุมชน โดยจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 เป็นที่ตั้งของหมู่บ้าน ไทรน้อย ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 เป็นจุดที่ใกล้ที่ตั้งบ้านคลองห้าร้อย สภาพบริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 1-6 แสดงอยู่ในภาพผนวกที่ ก2

1.1 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

1.1.1 นำฐานอุปกรณ์ครอบปลั๊กครอบลงบนพื้นผิวของมูลฝอย ในกรณีของมูลฝอยที่มีดินกลบทับจะสามารถกดฐานลงในดินได้ ส่วนในกรณีของมูลฝอยเทกองกลางแจ้งต้องมีการปรับพื้นที่ให้สามารถวางอุปกรณ์ครอบปลั๊กได้มั่นคงแล้วใช้ดินเหนียวอุดโดยรอบรอยต่อของอุปกรณ์ครอบปลั๊กด้านนอกเพื่อลดการรั่วซึมของก๊าซภายใน นำอุปกรณ์ครอบปลั๊กครอบบนฐานใช้น้ำสะอาดหล่อเลี้ยงรอยต่อระหว่างฐานกับตัวอุปกรณ์ครอบปลั๊กเพื่อป้องกันการรั่วซึมออกของก๊าซ

1.1.2 เก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนโดยใช้กระบอกฉีดขนาด 10 ml. เก็บตัวอย่างอากาศจากในอุปกรณ์ครอบปลั๊กแล้วเก็บลงในหลอดสูญญากาศเพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ โดยทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเริ่มต้นครอบอุปกรณ์ แล้วเก็บซ้ำทุก ๆ 20 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง จะได้จำนวน 4 ตัวอย่างต่อชั่วโมงต่อจุด

1.1.3 นำตัวอย่างก๊าซมีเทนที่เก็บได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890 ที่ใช้ ECD โดยตั้งอุณหภูมิของ Injector, Detector และ Column เท่ากับ 105°C, 150°C และ 35°C ตามลำดับ และตั้งอัตราการไหลของก๊าซ Helium 65 มิลลิลิตรต่อนาที

1.1.4 นำผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนที่ได้มาทำการคำนวณหาอัตราการแพร่กระจายโดยใช้สมการที่ 19

$$F = \frac{\rho V \Delta C}{A \Delta t} \quad (19)$$

โดยที่ F = อัตราการแพร่กระจาย, $\text{g/m}^2\text{-h}$

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนในอากาศ, g/m^3

V = ปริมาตรของอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ มีค่า 0.049 m^3

A = พื้นที่ปิดล้อมของอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ มีค่า 0.188 m^2

ΔC = ความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง, %

Δt = ช่วงเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง, hour

1.1.5 เก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยเมื่อครอบอุปกรณ์ครอบฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้หลอดดูดซับ (Adsorbent tube) เก็บตัวอย่างอากาศที่ต่อกับเครื่องดูดอากาศที่อัตราการไหล 30 ml/min เป็นเวลา 20 นาที

1.1.6 นำตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยที่เก็บได้ในหลอดเก็บตัวอย่างอากาศไปทำการวิเคราะห์ตามวิธี NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 1996; Method 1501 ของ US. Department of Health and Human Services ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ซึ่งใช้ Flame Ionization Detector (FID)

1.1.7 นำผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยที่ได้มาทำการคำนวณอัตราการแพร่กระจายโดยใช้สมการที่ 20 โดยมีสมมติฐานว่าความเข้มข้นเริ่มต้นมีค่าเป็นศูนย์

$$F = \frac{VC}{\Delta t} \quad (20)$$

โดยที่ F = อัตราการแพร่กระจาย, $\text{mg/m}^2\text{-h}$

V = ปริมาตรของอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ มีค่า 0.049 m^3

A = พื้นที่ปิดล้อมของอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ มีค่า 0.188 m^2

C = ความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้ในช่วงเวลา t , mg/m^3

t = ช่วงระยะเวลาที่ครอบฟลักซ์, hr

1.1.8 นำผลการคำนวณอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยที่ได้มาทำการกระจายค่าอัตราการแพร่กระจายเป็นอัตราการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการ Interpolation แบบ Inverse distance weight แล้วหาอัตราการแพร่กระจายเฉลี่ยต่อพื้นที่

1.2 การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซมีเทนทำการเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างในบรรยากาศที่ 1-6 ในภาพที่ 16 โดยการเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 4 ครั้ง ครั้งละ 8 ชั่วโมง ได้ตัวอย่าง 6 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ได้จำนวนตัวอย่างรวม 192 ตัวอย่าง เก็บอากาศใส่หลอดเก็บตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วย GC

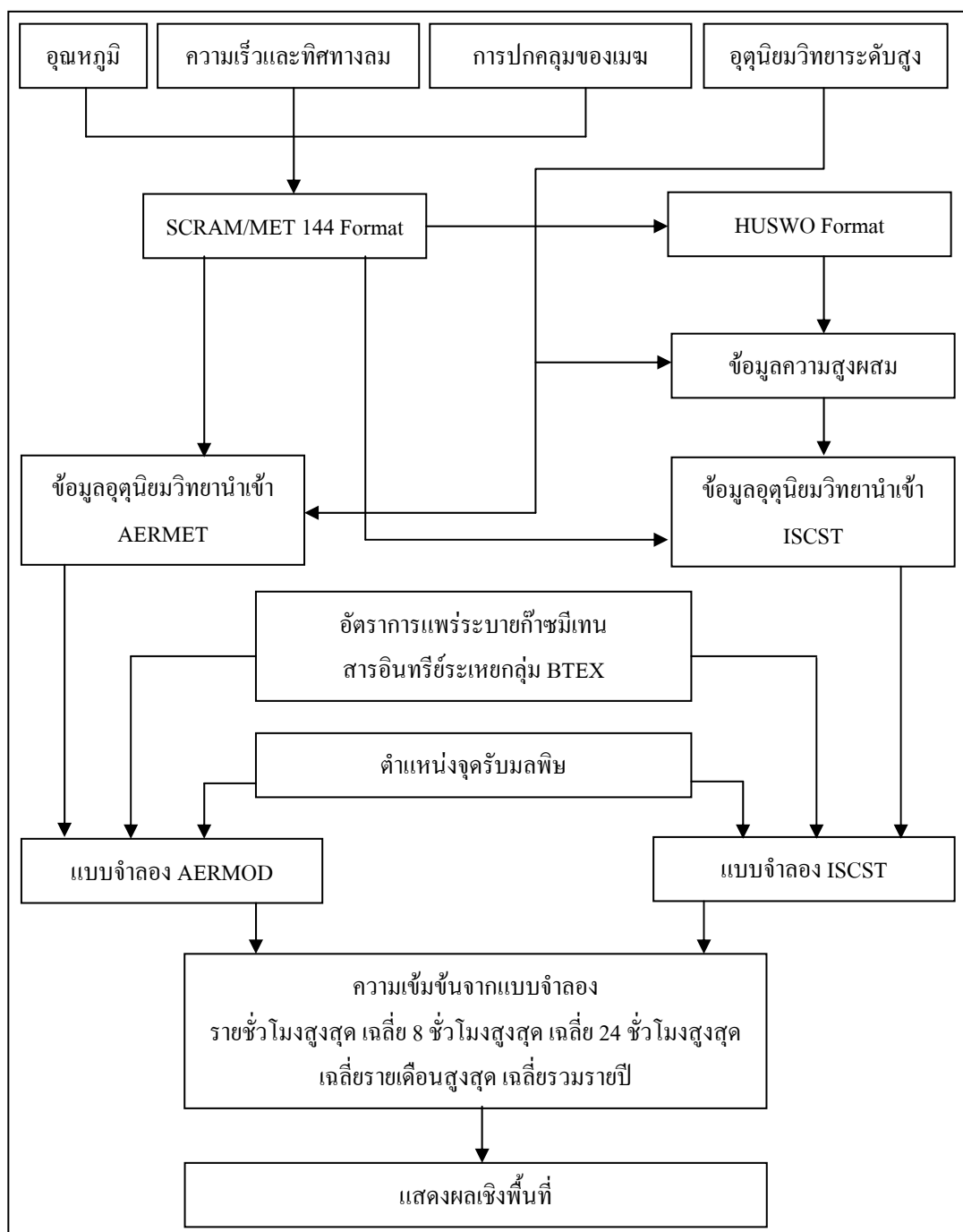
การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ใช้การเก็บตัวอย่างอากาศใส่หลอดดูดซับ เก็บตัวอย่างด้วยอัตราการไหล 30 ml/min เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างในจุดเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศ ที่ 1, 2 ซึ่งเป็นทิศทางใต้ลม จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ซึ่งอยู่ใกล้ชุมชน และจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 เป็นจุดเก็บตัวอย่างเหนือลม โดยไม่เก็บตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 และ 4 เนื่องจากอยู่ติดกับถนน อาจมีโอกาสได้รับสารจากยานพาหนะ ทำการเก็บตัวอย่าง 4 เดือน เดือนละ 1 ครั้ง ได้จำนวนตัวอย่างรวม 16 ตัวอย่าง

2. การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยโดยใช้แบบจำลอง

2.1 การใช้แบบจำลองทำนายความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหย

พื้นที่ศึกษากำหนดขอบเขตในพื้นที่ 4x4 ตารางกิโลเมตร โดยกำหนดจุดรับมลพิษในแบบจำลองเป็นแบบ Cartesian grid กำหนดความสูงจากระดับพื้นดิน 1.5 เมตร ระยะห่างระหว่างจุด 100 เมตร รวมมีจุดรับมลพิษ 1681 จุด โดยมีตำแหน่งและทิศทางจุดรับมลพิษจากจุดกำเนิดในแบบจำลองแสดงในภาพผนวกที่ ค4

ข้อมูลอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยจากกองมูลฝอยกองเก่าตั้งแต่ D1-D3 ในแต่ละช่วงเวลาใช้ค่าจากการศึกษาของ Chiemchaisri *et al.* (2006) และมณีรัตน์ (2549) ส่วนอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยจากกองมูลฝอย D4 และ D5 ใช้การศึกษาจากการตรวจวัดจริงในปี พ.ศ. 2550 โดยนำเข้าข้อมูลแตกต่างกันเป็นรายเดือนตามฤดูกาล โดยกำหนดฤดูฝนจากปริมาณฝนตกมากกว่าค่าการระเหยซึ่งครอบคลุมเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม และกำหนดฤดูแล้งจากปริมาณฝนตกน้อยกว่าค่าการระเหยซึ่งครอบคลุมเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมิถุนายนของปีถัดไป



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง AERMOD และ ISCST

ค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองประกอบด้วยความเข้มข้นรายชั่วโมงสูงสุด เฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด เฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด เฉลี่ยรายเดือนสูงสุด และเฉลี่ยรวมรายปี เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองดังในภาพที่ 17

ข้อมูลอุณหภูมิตemperature ใช้ข้อมูลอากาศพื้นผิวรายชั่วโมง ประกอบด้วยอุณหภูมิ ความเร็ว และทิศทางลม ปริมาณเมฆที่ปกคลุมและความสูงของชั้นเมฆ จากสถานีตรวจอากาศดอนเมืองซึ่งเป็นสถานีตรวจอากาศที่ใกล้ที่สุดที่มีการตรวจวัดข้อมูลรายชั่วโมงครบทุกค่าที่ต้องนำเข้าสู่แบบจำลอง ข้อมูลอุณหภูมิตemperature ระดับบนจากสถานีตรวจอากาศกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้ที่สุดที่มีการตรวจวัด สำหรับข้อมูลความสูงผสมที่ใช้กับแบบจำลอง ISCST คำนวณจากโปรแกรม MIXHTS โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิตemperature ระดับบนกับข้อมูลอุณหภูมิตemperature พื้นผิวในรูปแบบ HUSWO

2.2 การเปรียบเทียบ ทดสอบประสิทธิภาพและปรับเทียบแบบจำลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ศึกษาโดยนำข้อมูลทำนายความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากการเก็บตัวอย่างจริงกับค่าความเข้มข้นรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองมาทำการเปรียบเทียบโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ RMSE

การปรับเทียบแบบจำลองทำการปรับเทียบกับเฉพาะแบบจำลอง AERMOD สำหรับแบบจำลอง ISCST เป็นแบบจำลองที่ U.S. EPA กำหนดให้นำมาใช้โดยเป็นแบบจำลองที่ไม่ต้องมีการปรับเทียบ ในขณะที่แบบจำลอง AERMOD มีค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองที่สามารถปรับเทียบได้ 3 ค่า คือ Albedo, Bowen ratio และ Surface roughness length

การเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลอง นำความเข้มข้นรายชั่วโมง เฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด เฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด เฉลี่ยรายเดือนสูงสุด และเฉลี่ยรวมรายปีของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่ได้จากแบบจำลอง มาทำการเปรียบเทียบโดยใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างประชากรแบบจับคู่ (Paired sample t-test) โดยใช้ค่านัยสำคัญที่ 0.05 ทดสอบค่าความแตกต่างด้วย Normalized root mean squared error และค่าสัดส่วน AERMOD/ISCST เฉลี่ย

การเปรียบเทียบตำแหน่งที่เกิดความเข้มข้น ทำการปรับเทียบจากค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 กับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 มากกว่าค่าปรับเทียบเท่ากับ 1 เพื่อพิจารณารูปแบบการตกของมลพิษกับสภาพการใช้ที่ดิน

3. การประเมินความเสี่ยงของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ต่อสุขภาพอนามัย

การประเมินความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัยทำการประเมินเฉพาะสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่มีการแพร่กระจายจากสถานที่กำจัดมูลฝอยเป็นแหล่งกำเนิด โดยแยกเป็นส่วนของผู้ปฏิบัติงานภายในสถานที่กำจัดมูลฝอยทำการพิจารณาค่ามาตรฐานด้านการประกอบวิชาชีพสำหรับการประเมินความเสี่ยงแบบเรื้อรัง ในส่วนของ Exposure assessment ใช้ค่าการแพร่กระจายจากแบบจำลอง ส่วน Dose response assessment ใช้การประเมินเปรียบเทียบกับ ค่า RfDs โดยแยกเป็นการประเมินความเสี่ยงของผู้อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบและผู้ทำงานภายในสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยประเมินทั้งแบบ Noncarcinogenic effect และ Carcinogenic effect ตามวิธีของ U.S. EPA

ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ทำงานในสถานที่กำจัดมูลฝอยโดยพิจารณาค่ามาตรฐานด้านการประกอบวิชาชีพที่ระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันตามมาตรฐาน OSHA NIOSH และ ACGIH โดยใช้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดภายในสถานที่กำจัดมูลฝอยที่ทำนายได้จากแบบจำลอง

ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยแบบ Noncarcinogenic effect โดยใช้ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตราย (Hazard index) สำหรับผู้ทำงานในสถานที่กำจัดมูลฝอย ประเมินการได้รับสารโดยใช้ระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน 5 วัน/สัปดาห์ 48 สัปดาห์/ปี เป็นเวลา 45 ปี แล้วเปรียบเทียบกับค่า RfDi สำหรับผู้อยู่อาศัยโดยรอบใช้ระยะเวลารับมลพิษ 24 ชั่วโมง/วัน 7 วัน/สัปดาห์ 50 สัปดาห์/ปี เป็นเวลา 70 ปี โดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี

ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยแบบ Carcinogenic effect โดยใช้ค่า Inhalation unit risk กับค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด

4. การแพร่กระจายของกลิ่น

4.1 ตรวจวัดการแพร่กระจายของกลิ่นโดยใช้เครื่องมือวัดกลิ่นภาคสนาม Nasal Ranger Field Olfactometer พัฒนาโดย St.Croix Sensory ดังในภาพที่ 12 โดยมีขั้นตอนวิธีตรวจวัดโดยเริ่มดมกลิ่นจากอัตราส่วนเจือจางอากาศสูงสุดแล้วลดอัตราส่วนการเจือจางลงเรื่อย ๆ จนผู้ทำการตรวจวัดเริ่มได้กลิ่นดังขั้นตอนในภาพที่ 18

4.2 ค่าจากการตรวจวัดเป็นค่า Dilution-to-threshold (D/T) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของอัตราส่วนการเจือจาง ในกรณีตรวจวัดได้ 15 D/T หมายความว่าค่าอัตราส่วนการเจือจางที่ได้อยู่ระหว่างค่า 15 ถึง 30 ดังนั้นในการตรวจวัดเมื่อมีผู้ตรวจวัดมากกว่า 1 คนจึงต้องกำหนดค่ากลางขึ้นเป็นตัวแทน ซึ่งใน Sheffield *et al.* (2004) แนะนำให้ใช้หน่วย Geometric dilution-to-threshold (D/T) โดยมีค่าคำนวณจากสมการที่ 21 สำหรับเครื่องมือวัดกลิ่น Nasal Ranger Field Olfactometer สามารถแปลงจาก D/T ไปเป็น D/T_{Geo} ได้ดังในตารางที่ 23

$$D/T_{Geo} = 10^{\frac{\log D/T_n + \log D/T_{n+1}}{2}} \quad (21)$$

ตารางที่ 23 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง Unit D/T กับ Geometric D/T ของเครื่องวัดกลิ่น Nasal Ranger Field Olfactometer

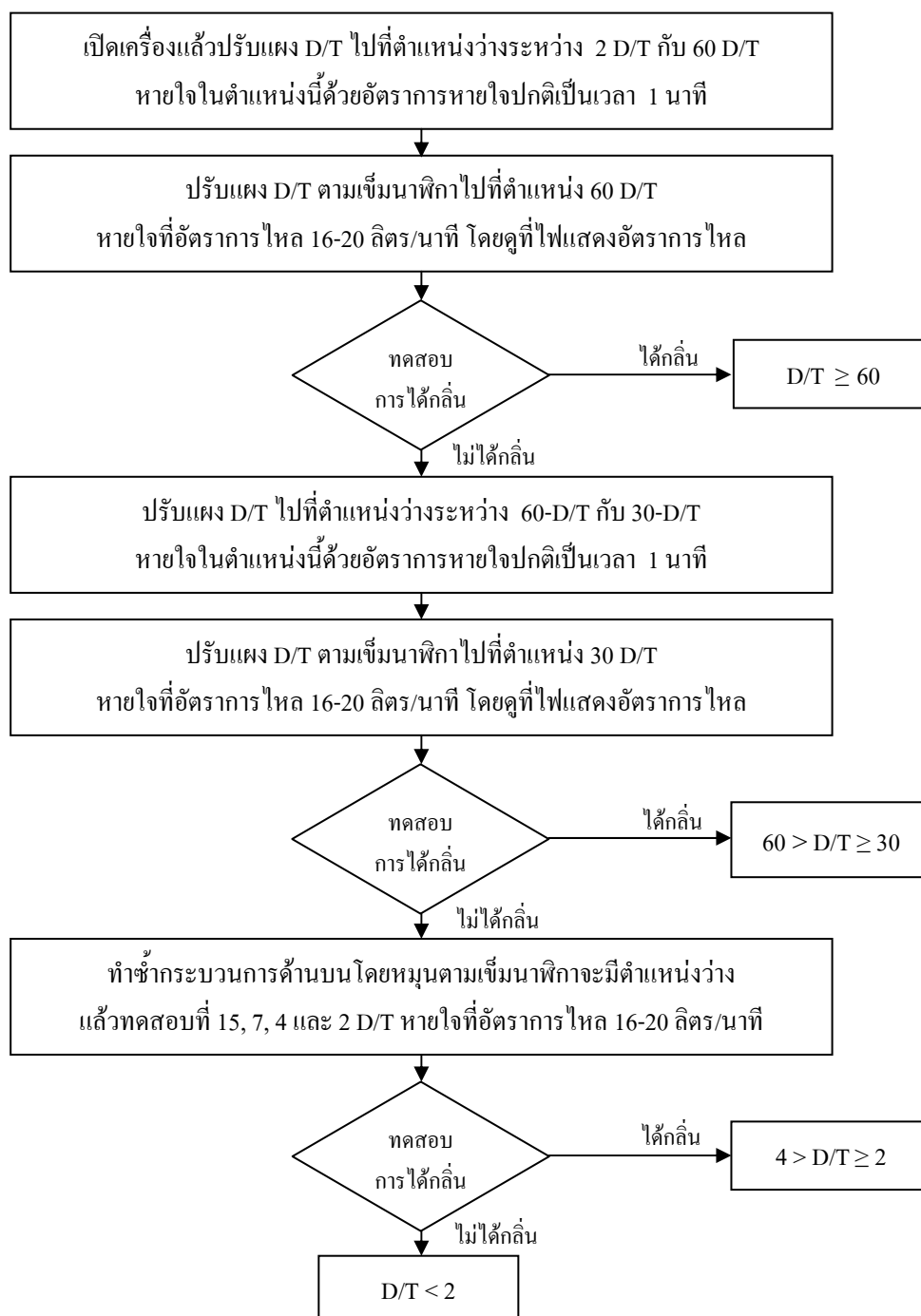
Unit D/T	Geometric D/T (D/T_{Geo})
60	60
30	42.4
15	21.2
7	10.2
4	5.3
2	2.8
<2	1.4

ที่มา: Sheffield *et al.* (2004)

4.3 นำค่า D/T_{Geo} จากการตรวจวัดแสดงในภาพ ที่แสดงถึงระดับกลิ่นในแต่ละจุดตรวจวัด ทั้ง 6 จุด ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 18.00 น. รวม 10 ชั่วโมงประกอบกับความเร็วลม ทิศทางลม และความคงตัวของบรรยากาศ

4.4 นำแบบจำลอง AERMOD และ ISCST มาทำนายการแพร่กระจายของกลิ่นที่แพร่ระบายจากสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยมีข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาและจุดรับกลิ่นนำเข้าแบบจำลอง เช่นเดียวกับการศึกษาก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

4.5 นำค่าจากแบบจำลองและความสัมพันธ์กับการตรวจวัดจริงมาประเมินผลกระทบจากกลิ่นที่อาจจะเกิดขึ้นกับชุมชนโดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานทิศทางที่ได้รับผลกระทบ และระยะห่างจากสถานที่กำจัดมูลฝอยที่จะทำให้ไม่ได้รับผลกระทบจากกลิ่นเกินมาตรฐาน



ภาพที่ 18 ขั้นตอนการตรวจวัดกลิ่นด้วยเครื่อง Nasal Ranger Field Olfactometer

ผลและวิจารณ์

1. การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหย

1.1 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอย

การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากพื้นผิวมูลฝอยของกองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง (กองมูลฝอย D4) พบว่ามีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนเฉลี่ยจากการตรวจวัดในฤดูแล้งอยู่ระหว่าง $2.47\text{--}7.51\text{ g/m}^2\text{-d}$ คิดเป็นค่าเฉลี่ย $4.21\text{ g/m}^2\text{-d}$ และเมื่อนำข้อมูลแต่ละจุดมาหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งกองมูลฝอยโดยวิธี Interpolation แบบ Inverse distance weight ได้ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ $3.99\text{ g/m}^2\text{-d}$ ในขณะที่ฤดูฝนพบว่ามีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงระหว่าง $0.51\text{--}13.07\text{ g/m}^2\text{-d}$ โดยมีค่าเฉลี่ย $5.44\text{ g/m}^2\text{-d}$ และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้ $5.23\text{ g/m}^2\text{-d}$ (ตารางที่ 24)

การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากพื้นผิวดินกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ (กองมูลฝอย D5) มีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนเฉลี่ยจากการตรวจวัดในฤดูแล้งอยู่ระหว่าง $3.20\text{--}53.93\text{ g/m}^2\text{-d}$ คิดเป็นค่าเฉลี่ย $21.25\text{ g/m}^2\text{-d}$ และเมื่อนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ $20.87\text{ g/m}^2\text{-d}$ ในขณะที่ฤดูฝนมีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงระหว่าง $20.01\text{--}86.70\text{ g/m}^2\text{-d}$ โดยมีค่าเฉลี่ย $54.10\text{ g/m}^2\text{-d}$ และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้ $53.51\text{ g/m}^2\text{-d}$ (ตารางที่ 25)

อัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ทำการตรวจวัดทั้งบนพื้นผิวมูลฝอยของกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้งและบนพื้นผิวดินของกองมูลฝอยที่มีดินกลบทับ พบว่าอัตราการแพร่กระจายของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากกองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ย 2.08×10^{-2} , 1.83×10^{-2} , 1.00×10^{-2} และ $1.47 \times 10^{-2}\text{ g/m}^2\text{-d}$ คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้ 2.14×10^{-2} , 1.94×10^{-2} , 1.01×10^{-2} และ $1.51 \times 10^{-2}\text{ g/m}^2\text{-d}$ ตามลำดับ สำหรับกองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งในฤดูฝนพบอัตราการแพร่กระจายของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.01×10^{-2} , 1.35×10^{-2} , 0.89×10^{-2} และ $0.91 \times 10^{-2}\text{ g/m}^2\text{-d}$ คิดเป็นค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้เท่ากับ 1.03×10^{-2} , 1.40×10^{-2} , 0.88×10^{-2} , $0.92 \times 10^{-2}\text{ g/m}^2\text{-d}$ (ตารางที่ 24)

อัตราการแพร่กระจายของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากพื้นผิวดินของ กองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูแล้ง พบว่ามีค่าเท่ากับ 7.1×10^{-2} , 9.88×10^{-2} , 4.84×10^{-2} และ 7.65×10^{-2} g/m²-d ตามลำดับ เมื่อนำมากระจายค่าลงเป็นค่าเชิงพื้นที่ ได้ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ 7.11×10^{-2} , 9.76×10^{-2} , 4.80×10^{-2} และ 7.62×10^{-2} g/m²-d และสุดท้ายคืออัตราการแพร่กระจายผ่านพื้นผิวดินของ กองมูลฝอยที่มีดินกลบทับในฤดูฝนพบว่ามีอัตราการแพร่กระจาย 3.33×10^{-2} , 8.47×10^{-2} , 2.99×10^{-2} และ 4.91×10^{-2} g/m²-d คิดเป็นค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้เท่ากับ 3.25×10^{-2} , 8.33×10^{-2} , 2.97×10^{-2} และ 4.90×10^{-2} g/m²-d (ตารางที่ 25)

อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่แพร่กระจาย จากพื้นผิวมูลฝอยของกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้งและพื้นผิวดินของกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง เมื่อนำมาทำการกระจายข้อมูลเป็นเชิงพื้นที่แล้วสามารถแสดงเส้นอัตราการ แพร่กระจายเท่าของกองมูลฝอย D4 และ D5 ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง1 ถึง ภาพผนวกที่ ง5 ซึ่งจะ พบว่ามีค่าไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งกอง

จากการศึกษาพบว่าอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากพื้นผิวดินของกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมีค่าสูงกว่าอัตราการแพร่กระจายจากพื้นผิว มูลฝอยของกองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับการศึกษาของ ทรงศักดิ์ (2545) ซึ่งทำการศึกษ้อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จาก กองมูลฝอยทั้งสองประเภทและพบว่า อัตราการแพร่กระจายจากกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมี อัตราสูงกว่ากองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง

กองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับจะมีสภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า ในสภาพที่เป็นแบบเทกองกลางแจ้ง เนื่องจากมีหน้าดินกลบทับที่ทำหน้าที่ป้องกันการซึมผ่านของ อากาศเข้าไปในกองมูลฝอย เป็นผลให้มีอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนที่สูงกว่ากองมูลฝอย แบบเทกองกลางแจ้ง นอกจากนี้ในฤดูฝนจะมีน้ำฝนที่ซึมผ่านเข้าสู่กองมูลฝอยตามรอยแตกของดิน กลบทับ โดยเฉพาะหน้าดินกลบทับที่ไม่ได้คำนวณค่าป้องกันการซึมตามหลักสุขาภิบาล ทำให้ สภาพภายในกองมูลฝอยมีสภาพการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่มากขึ้นอีกด้วย รวมทั้งน้ำยังทำ หน้าที่เป็นตัวละลายสารตั้งต้นที่เป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนให้ ออกมามากขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น จึงทำให้อัตราการแพร่กระจายมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 24 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX บนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

จุดเก็บ ตัวอย่าง	อัตราการแพร่กระจาย ($\text{g/m}^2\text{-d}$)									
	ฤดูแล้ง					ฤดูฝน				
	มีเทน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน	มีเทน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
G1	2.47	0.0267	0.0329	0.0115	0.0197	0.51	0.0114	0.0176	0.0100	0.0106
G2	2.64	0.0279	0.0216	0.0108	0.0167	13.07	0.0203	0.0203	0.0095	0.0122
G3	4.30	0.0219	0.0160	0.0103	0.0146	6.28	0.0044	0.0150	0.0050	0.0094
G4	7.51	0.0170	0.0144	0.0093	0.0098	4.42	0.0076	0.0065	0.0105	0.0086
G5	4.11	0.0107	0.0067	0.0080	0.0123	2.93	0.0069	0.0079	0.0093	0.0047
ค่าเฉลี่ย	4.21	0.0208	0.0183	0.0100	0.0147	5.44	0.0101	0.0135	0.0089	0.0091
SD	2.03	0.0071	0.0097	0.0014	0.0038	4.76	0.0062	0.0060	0.0022	0.0028
ต่ำสุด	2.47	0.0107	0.0067	0.0080	0.0098	0.51	0.0044	0.0065	0.0050	0.0047
สูงสุด	7.51	0.0279	0.0329	0.0115	0.0197	13.07	0.0203	0.0203	0.0105	0.0122
ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่	3.99	0.0214	0.0194	0.0101	0.0151	5.23	0.0103	0.0140	0.0088	0.0092

ตารางที่ 25 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX บนพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูแล้งและฤดูฝน

จุดเก็บ ตัวอย่าง	อัตราการแพร่กระจาย (g/m ² -d)									
	ฤดูแล้ง					ฤดูฝน				
	มีเทน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน	มีเทน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
S1	30.94	0.1401	0.1802	0.0746	0.1012	86.70	0.0942	0.1930	0.0656	0.0740
S2	36.03	0.1061	0.0894	0.0794	0.1053	81.98	0.0144	0.0587	0.0259	0.0716
S3	53.93	0.0939	0.1211	0.0231	0.0739	55.09	0.0638	0.0746	0.0090	0.0501
S4	14.29	0.0488	0.0569	0.0447	0.0387	36.33	0.0293	0.1098	0.0170	0.0205
S5	14.57	0.0665	0.0807	0.0419	0.0855	62.91	0.0207	0.0480	0.0133	0.0494
S6	8.05	0.0563	0.1921	0.0780	0.1070	66.69	0.0341	0.1351	0.0669	0.0478
S7	3.20	0.0248	0.0135	0.0211	0.0442	23.07	0.0046	0.0394	0.0268	0.0309
S8	8.98	0.0389	0.0563	0.0246	0.0564	20.01	0.0053	0.0191	0.0149	0.0485
ค่าเฉลี่ย	21.25	0.0719	0.0988	0.0484	0.0765	54.10	0.0333	0.0847	0.0299	0.0491
SD	17.42	0.0386	0.0622	0.0255	0.0276	25.41	0.0311	0.0578	0.0232	0.0181
ต่ำสุด	3.20	0.0248	0.0135	0.0211	0.0387	20.01	0.0046	0.0191	0.0090	0.0205
สูงสุด	53.93	0.1401	0.1921	0.0794	0.1070	86.70	0.0942	0.1930	0.0669	0.0740
ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่	20.87	0.0711	0.0976	0.0480	0.0762	53.51	0.0325	0.0833	0.0297	0.0490

1.2 การเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

อัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยทั้งจากพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งและพื้นผิวดินของกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ เมื่อนำมากระจายค่าเป็นค่าเชิงพื้นที่ด้วยการ Interpolation แบบ Inverse distance weight ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับค่าที่มีความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ พบว่ามีค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ดังในภาพผนวกที่ ง1-ภาพผนวกที่ ง5 ซึ่งพบว่ามีอัตราการแพร่กระจายไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งกอง เมื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอัตราการแพร่กระจายก๊าซบนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งกับอัตราการแพร่กระจายก๊าซบนพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีดินกลบทับในฤดูแล้งและฤดูฝน เพื่อศึกษาผลของหน้าดินกลบทับและฤดูกาลต่ออัตราการแพร่กระจายแสดงในตารางที่ 26 และแสดงความแตกต่างดังแผนภูมิที่แสดงในภาพที่ 19

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากพื้นผิวมูลฝอยและพื้นผิวดินในฤดูแล้งและฤดูฝน

ชนิดก๊าซ	ค่าอัตราการแพร่กระจายเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่ตรวจวัดได้ (g/m ² -d)							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(2)/(1)	(4)/(3)	(3)/(1)	(4)/(2)
มีเทน	3.99	5.23	20.87	53.51	1.31	2.56 ^a	5.23 ^b	10.23 ^b
เบนซีน	0.0214	0.0103	0.0711	0.0325	0.48 ^a	0.46 ^a	3.32 ^b	3.16
โทลูอิน	0.0194	0.0140	0.0976	0.0833	0.72	0.85	5.03 ^b	5.95 ^b
เอทิลเบนซีน	0.0101	0.0088	0.0480	0.0297	0.87	0.62 ^a	4.75 ^b	3.38 ^b
ไซลีน	0.0151	0.0092	0.0762	0.0490	0.61 ^a	0.64 ^a	5.05 ^b	5.33 ^b

หมายเหตุ (1) บนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองเปิดในฤดูแล้ง

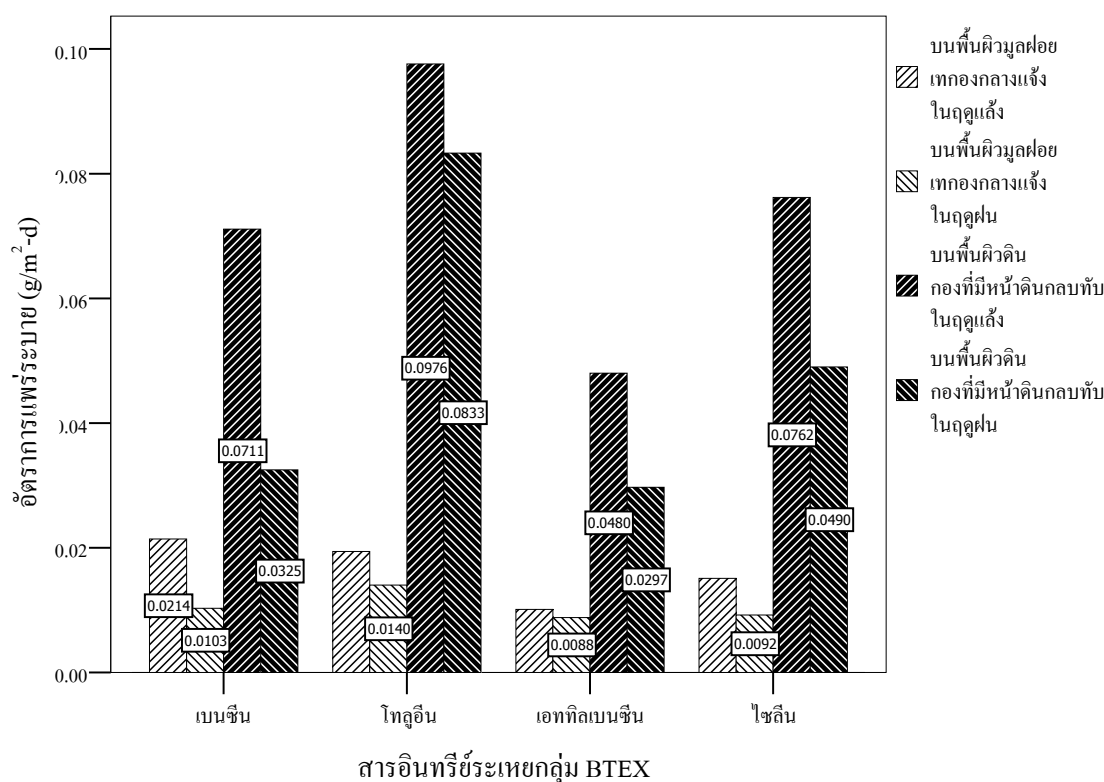
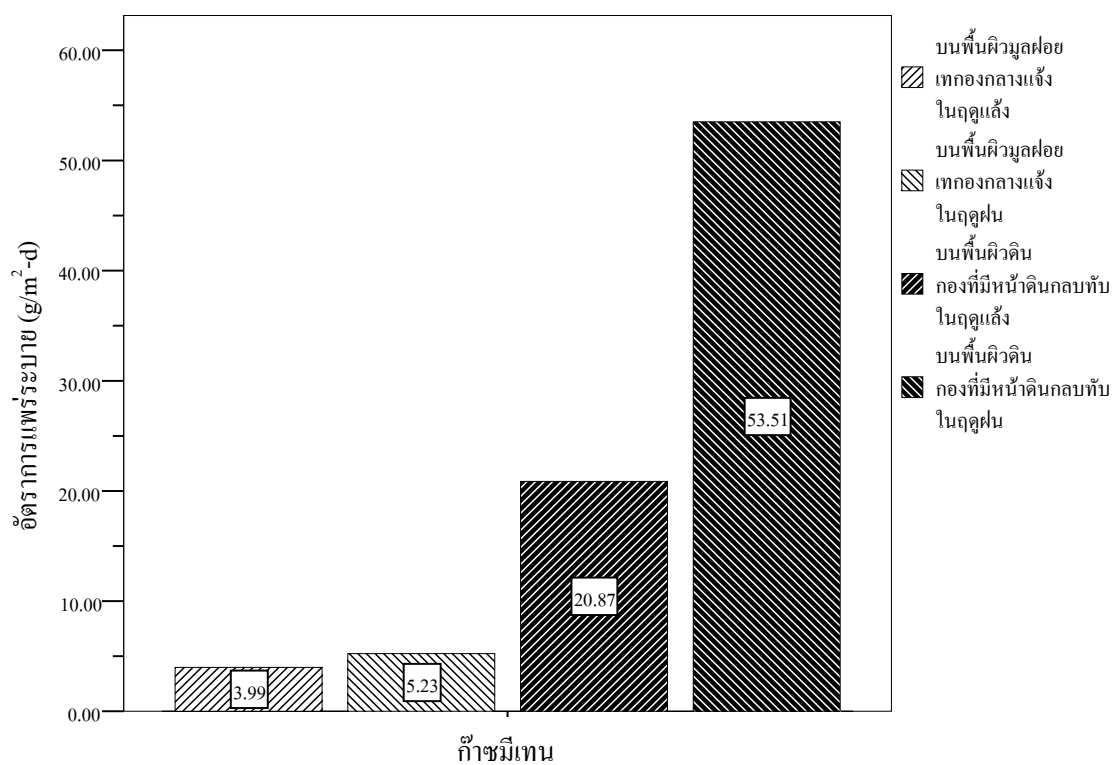
(2) บนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองเปิดในฤดูฝน

(3) บนพื้นผิวดินมูลฝอยแบบมีดินกลบทับในฤดูแล้ง

(4) บนพื้นผิวดินมูลฝอยแบบมีดินกลบทับในฤดูฝน

a ทดสอบความแตกต่างประชากรแบบจับคู่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่นัยสำคัญ 0.05

b ทดสอบประชากรสองกลุ่มที่เป็นอิสระ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่นัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบอัตราค่าแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จาก
 กองมูลฝอยเทศบาลเมืองและกองมูลฝอยที่มีน้ำใต้ดินกลับทับในฤดูแล้งและฤดูฝน

ในตารางที่ 26 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน จากกองมูลฝอยกองใหม่ที่เป็นแบบเทกองกลางแข็ง (D4) และแบบที่มีหน้าดินกลบทับ (D5) ในฤดูแล้งกับฤดูฝน โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแตกต่างประชากรแบบจับคู่ พบว่าอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนบนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแข็งในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง 1.31 เท่า อย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลจากการที่พื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแข็งไม่สม่ำเสมอและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนบนพื้นผิวของกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูฝน พบว่ามีอัตราการแพร่กระจายสูงกว่าในฤดูแล้ง 2.56 เท่า โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สำหรับในกรณีอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนบนพื้นผิวดินกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับเปรียบเทียบกับบนพื้นผิวมูลฝอยกองมูลฝอยเทกองกลางแข็ง โดยทดสอบประชากรสองกลุ่มที่เป็นอิสระ พบว่าอัตราการแพร่กระจายบนพื้นผิวดินสูงกว่า 5.23 เท่าในฤดูแล้ง และสูงกว่า 10.23 เท่าในฤดูฝน โดยมีความแตกต่างที่นัยสำคัญ 0.05

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยการทดสอบความแตกต่างของประชากรแบบจับคู่ พบว่าทั้งบนพื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแข็งและพื้นผิวดินกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูฝนจะมีอัตราการแพร่กระจายต่ำกว่าในฤดูแล้ง โดยมีอัตราการแพร่กระจายของ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน ในฤดูฝนต่ำกว่าฤดูแล้ง 0.48, 0.72, 0.87, 0.61 เท่าบนพื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแข็ง และ 0.46, 0.85, 0.62, 0.64 เท่าบนพื้นผิวดินกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ โดยเบนซีนและไซลีนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายระหว่างพื้นผิวดินกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับกับพื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแข็งโดยทดสอบประชากรสองกลุ่มที่เป็นอิสระ พบว่าในฤดูแล้งพื้นผิวดินมีอัตราการแพร่กระจายมากกว่าพื้นผิวมูลฝอย 3.32, 5.03, 4.75, 5.05 เท่า และมากกว่า 3.16, 5.95, 3.38, 5.33 เท่า ในฤดูฝน โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ยกเว้นเบนซีนในฤดูฝน

อัตราการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมีค่าสูงกว่ากองมูลฝอยแบบเทกองกลางแข็ง เนื่องจากกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมีปฏิริยาการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงกว่าทำให้ความดันในกองมีค่าสูงทำให้การแพร่กระจายของ BTEX มีค่าสูงตามความดันย่อยของก๊าซ สำหรับในฤดูฝนพบว่าอัตราการแพร่กระจาย BTEX มีค่าต่ำกว่าฤดูแล้ง เพราะมีน้ำเป็นตัวปิดกั้นและหน้าดินกลบทับที่มีความชื้นมีความสามารถในการลดอัตราการแพร่กระจาย

1.3 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ

การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศที่จุดตรวจวัดที่ 1-6 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จำนวน 4 ครั้ง จำนวนตัวอย่าง 192 ตัวอย่างพบว่า มีเพียง 4 ตัวอย่างเท่านั้นที่ตรวจพบก๊าซมีเทน โดยพบจากตัวอย่างที่เก็บเฉพาะในเดือนสิงหาคมซึ่งเป็นฤดูฝน และตรวจพบจากจุดตรวจวัดที่ 1 เท่านั้น แสดงว่าวิธีการที่ใช้ไม่สามารถตรวจพบก๊าซมีเทนในบรรยากาศปกติได้ เนื่องจากมีเทนเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็ก เบากว่าอากาศ สามารถแพร่กระจายไปได้อย่างรวดเร็ว ส่วนการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยใช้หลอดดูดซับตัวอย่าง ตรวจพบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ได้แก่ เบนซีน จำนวน 9 ตัวอย่าง ตรวจพบโทลูอินและไซลีนจำนวนชนิดละ 8 ตัวอย่าง และมีการตรวจพบเอทิลเบนซีนเพียง 2 ตัวอย่าง ดังในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ในบรรยากาศ

(µg/m ³)						
วันที่	ช่วงเวลา	จุดที่	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
26 พ.ค. 2551	8-12 น.	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	12-16 น.	6	0.71	0.30	0.12	0.43
27 พ.ค. 2551	8-12 น.	1	0.43	0.22	n.d.	0.18
	12-16 น.	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
16 มิ.ย. 2551	8-12 น.	5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	12-16 น.	6	0.38	0.23	n.d.	0.32
17 มิ.ย. 2551	8-12 น.	1	0.41	0.34	n.d.	0.19
	12-16 น.	2	0.11	n.d.	n.d.	n.d.
28 ก.ค. 2551	8-12 น.	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	12-16 น.	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
29 ก.ค. 2551	8-12 น.	1	0.39	0.53	0.17	0.23
	12-16 น.	1	0.27	0.34	n.d.	0.33
18 ส.ค. 2551	8-12 น.	1	0.18	0.81	n.d.	0.39
	12-16 น.	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
19 ส.ค. 2551	8-12 น.	1	0.47	0.59	n.d.	0.35
	12-16 น.	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

2. การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยจากแบบจำลอง

2.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

2.1.1 อัตราการแพร่ระบายจากกองมูลฝอย

กองมูลฝอยกองเก่า (กองมูลฝอย D1) เป็นกองมูลฝอยขนาด 58,000 ตารางเมตร ถูกใช้มานานกว่า 20 ปี มูลฝอยเป็นมูลฝอยที่มีอายุมากผ่านการย่อยสลายมาเป็นเวลานาน เมื่อมีการปรับปรุงกองมูลฝอยในปี พ.ศ. 2549 เกิดกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับเพิ่มขึ้น 2 กอง (กองมูลฝอย D2 และ D3) มีขนาด 17,000 และ 40,000 ตารางเมตร มูลฝอยเป็นมูลฝอยที่ขนย้ายมาจากกองมูลฝอย D1 สำหรับกองมูลฝอยกองใหม่เป็นกองมูลฝอยขนาด 19,000 ตารางเมตร จำนวน 2 กอง กองหนึ่งมีการใช้หน้าดินกลบทับอีกกองเป็นแบบเทกองกลางแจ้งมูลฝอยเป็นมูลฝอยใหม่ที่เข้ามากำจัดเป็นประจำทุกวัน

อัตราการแพร่ระบายของมูลฝอยกองเก่า (D1) ในขณะมีการใช้งานเป็นกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้ง มีการศึกษาอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนจาก Chiemchaisri *et al.* (2006) และอัตราการแพร่ระบายสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากการศึกษาของ มณีรัตน์ (2549) เมื่อกองมูลฝอยซึ่งเป็นมูลฝอยเก่า (D1-D3) มีการปรับพื้นที่และใช้หน้าดินกลบทับ ใช้การประเมินการลดลงของสารอินทรีย์ระเหยจากการศึกษาของ อันชรีย์ (2548)

การตรวจวัดการแพร่ระบายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยกองใหม่เปรียบเทียบกับการศึกษาจากมูลฝอยกองเก่าดังตารางที่ 28 สำหรับก๊าซมีเทนจากกองมูลฝอยเก่า (D1-D3) มีอัตราการแพร่ระบายเฉลี่ย $1.97 \text{ g/m}^2\text{-d}$ เมื่อมีหน้าดินกลบทับทำให้มีอัตราการแพร่ระบายลดลงเหลือ 1.30 และ $1.32 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกัน สำหรับกองมูลฝอยกองใหม่แบบเทกองกลางแจ้ง (D4) พบอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนเฉลี่ย 3.99 และ $5.23 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ ส่วนกองมูลฝอยกองใหม่ที่มีหน้าดินกลบทับ (D5) พบอัตราการแพร่ระบายก๊าซมีเทนเฉลี่ย 20.87 และ $53.51 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ สำหรับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX มีอัตราการแพร่ระบายดังในตารางที่ 28 ซึ่งสรุปอัตราการแพร่ระบายในแต่ละสถานะและช่วงเวลา เพื่อนำไปเป็นข้อมูลอัตราการปลดปล่อยมลพิษนำเข้าสู่แบบจำลองในหน่วย $\text{g/m}^2\text{-s}$

ตารางที่ 28 สรุปอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยเก่าและกองมูลฝอยใหม่ในฤดูกาลที่แตกต่างกัน

ชนิดก๊าซ	กองมูลฝอยเก่า (D1-D3)			กองมูลฝอยใหม่(D4-D5)			
	เทกอง กลางแจ้ง	หน้าดินกลบทับ		เทกองกลางแจ้ง		หน้าดินกลบทับ	
		ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน
(g/m ² -d)							
มีเทน	1.97 ^a	1.30 ^a	1.32 ^a	3.99	5.23	20.87	53.51
(x 10 ⁻³ g/m ² -d)							
เบนซีน	2.184 ^b	0.874 ^c	0.328 ^c	21.4	10.3	71.1	32.5
โทลูอิน	1.452 ^b	0.290 ^c	0.015 ^c	19.4	14.0	97.6	83.3
เอทิลเบนซีน	0.079 ^b	0.016 ^c	0.001 ^c	10.1	8.8	48.0	29.7
ไซลีน	0.526 ^b	0.105 ^c	0.005 ^c	15.1	9.2	76.2	49.0

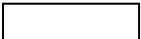
หมายเหตุ a = Chiemchaisri *et al.* (2006)

b = มณีรัตน์ (2549)

c = ประเมินการลดลงจากหน้าดินกลบทับประเภทดินเหนียวจาก อันชริย์ (2548)

อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากกองมูลฝอยในตารางที่ 28 เป็นอัตราการแพร่กระจายในหน่วย g/m²-d ซึ่งต้องทำการแปลงไปเป็น g/m²-s เพื่อนำเข้าสู่แบบจำลองโดยนำเข้าสู่ข้อมูลแปรผันรายเดือน แต่เนื่องจากข้อมูลที่มีการศึกษาไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างรายเดือนทุกเดือน จึงใช้ค่าตัวแทนของอัตราการแพร่กระจายตามฤดูกาลแทนโดยกำหนดช่วงเวลาของฤดูฝนจากปริมาณน้ำฝนมากกว่าปริมาณการระเหย เมื่อพิจารณาจากสถิติข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแล้วได้กำหนดให้ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมเป็นฤดูฝน จึงใช้การนำเข้าอัตราการแพร่กระจายของฤดูฝน ส่วนเดือนอื่นที่เหลือกำหนดเป็นฤดูแล้งใช้ข้อมูลนำเข้าอัตราการแพร่กระจายของฤดูแล้ง ซึ่งสามารถสรุปอัตราการแพร่กระจายในแต่ละเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2550 ของกองมูลฝอยแต่ละกองตั้งแต่ D1-D5 ดังในภาพที่ 20

		พ.ศ. 2548												พ.ศ. 2549												พ.ศ. 2550																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
D1	มีเทน	2.28E-05												1.50E-05												1.53E-05						1.50E-05											
	เบนซีน	2.5278E-08												1.0111E-08												3.7917E-09						1.0111E-08											
	โทลูอิน	1.6806E-08												3.3611E-09												1.6806E-10						3.3611E-09											
	เอทิลเบนซีน	9.1435E-10												1.8287E-10												9.1435E-12						1.8287E-10											
	ไซลีน	6.0880E-09												1.2176E-09												6.0880E-11						1.2176E-09											
D2	มีเทน													2.28E-05				1.53E-05				1.50E-05						1.53E-05						1.50E-05									
	เบนซีน													2.5278E-08				3.7917E-09				1.0111E-08						3.7917E-09						1.0111E-08									
	โทลูอิน													1.6806E-08				1.6806E-10				3.3611E-09						1.6806E-10						3.3611E-09									
	เอทิลเบนซีน													9.1435E-10				9.1435E-12				1.8287E-10						9.1435E-12						1.8287E-10									
	ไซลีน													6.0880E-09				6.0880E-11				1.2176E-09						6.0880E-11						1.2176E-09									
D3	มีเทน													2.28E-05				1.53E-05				1.50E-05						1.53E-05						1.50E-05									
	เบนซีน													2.5278E-08				3.7917E-09				1.0111E-08						3.7917E-09						1.0111E-08									
	โทลูอิน													1.6806E-08				1.6806E-10				3.3611E-09						1.6806E-10						3.3611E-09									
	เอทิลเบนซีน													9.1435E-10				9.1435E-12				1.8287E-10						9.1435E-12						1.8287E-10									
	ไซลีน													6.0880E-09				6.0880E-11				1.2176E-09						6.0880E-11						1.2176E-09									
D4	มีเทน																									4.62E-05						6.05E-05				6.19E-04				2.42E-04			
	เบนซีน																									2.4760E-07						1.1901E-07				3.7615E-07				8.2284E-07			
	โทลูอิน																									2.2404E-07						1.6201E-07				9.6363E-07				1.1298E-06			
	เอทิลเบนซีน																									1.1698E-07						1.0233E-07				3.4386E-07				5.5607E-07			
	ไซลีน																									1.7475E-07						1.0692E-07				5.6756E-07				8.8198E-07			
D5	มีเทน																									4.62E-05				2.42E-04				6.19E-04				4.62E-05					
	เบนซีน																									2.4760E-07				8.2284E-07				3.7615E-07				2.4760E-07					
	โทลูอิน																									2.2404E-07				1.1298E-06				9.6363E-07				2.2404E-07					
	เอทิลเบนซีน																									1.1698E-07				5.5607E-07				3.4386E-07				1.1698E-07					
	ไซลีน																									1.7475E-07				8.8198E-07				5.6756E-07				1.7475E-07					

 ยังไม่มีการใช้งาน
  กองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง
  กองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง
 (อัตราการแพร่กระจายเป็น $\text{g/m}^2\cdot\text{s}$)

ภาพที่ 20 อัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากพื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแจ้งและพื้นผิวดินกลบทับในช่วงเวลาต่าง ๆ

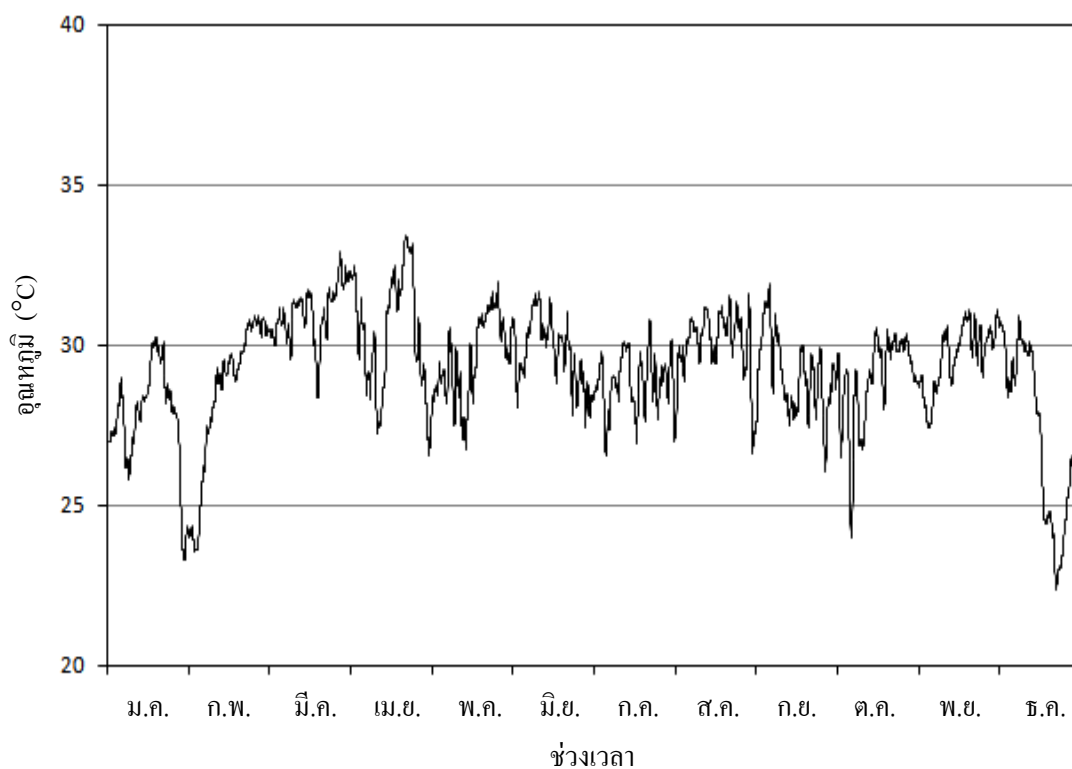
2.1.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยานำเข้าแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับพื้นผิวซึ่งประกอบไปด้วยความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และปริมาณการปกคลุมของเมฆ ส่วนข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับบนได้จากการปล่อยบอลลูนตรวจอากาศประกอบไปด้วยอุณหภูมิ ความกดอากาศ ความเร็วลม และทิศทางลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ

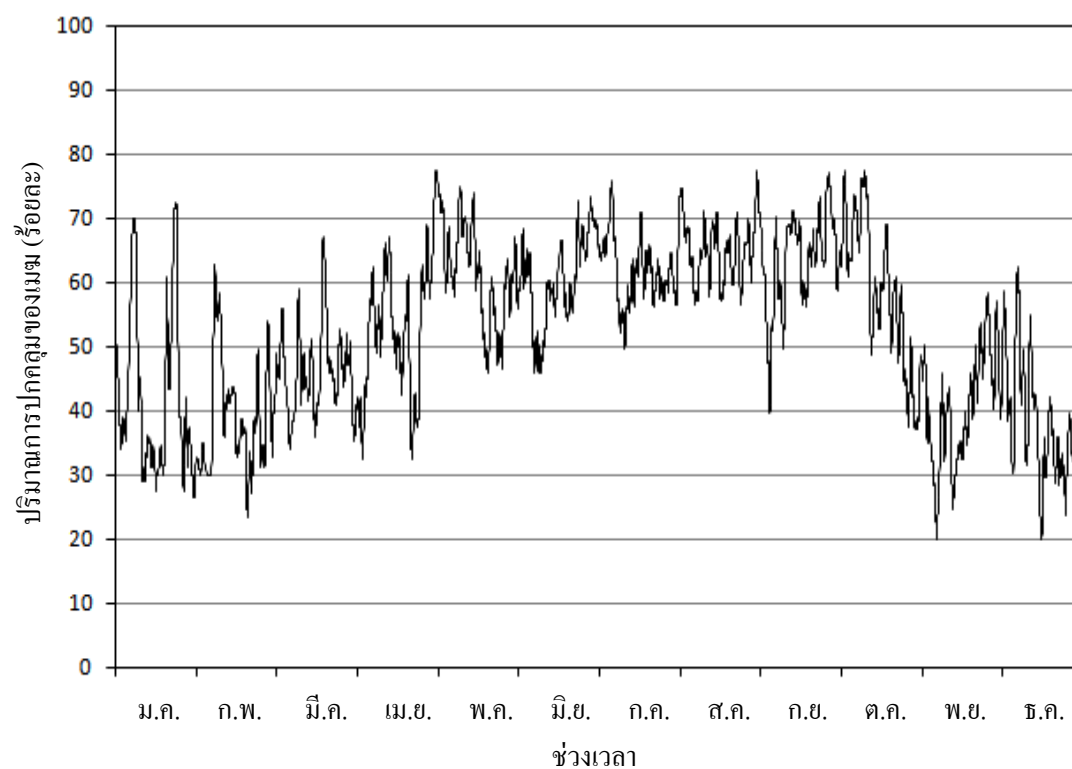
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิวนำเข้าสู่แบบจำลองเป็นข้อมูลรายชั่วโมงซึ่งอยู่ในรูปแบบ SCRAM ดังในภาพผนวกที่ ก1 ข้อมูลที่สำคัญคืออุณหภูมิและการปกคลุมของเมฆ เป็นค่าสำคัญในการคำนวณปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อากาศเกิดการพาความร้อน ส่วนทิศทางและความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดทิศทางและระดับการแพร่กระจายของสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดไปสู่จุดรับมลพิษ

สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับพื้นผิวในปี พ.ศ. 2550 เป็นข้อมูลรายชั่วโมงตลอดปี ซึ่งแสดงในภาพที่ 21-ภาพที่ 24 โดยการเฉลี่ยค่ารายชั่วโมงแบบ Moving average ให้เป็นค่ารายวัน เพื่อแสดงสภาพภูมิอากาศในแต่ละเดือน โดยในภาพที่ 21 เป็นค่าอุณหภูมิอากาศซึ่งจะพบว่ามีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนซึ่งเป็นฤดูร้อนและมีค่าต่ำในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มรสุม โดยปกติอุณหภูมิอากาศที่สูงจะทำให้อากาศลอยขึ้นสูงและมีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้มลพิษเกิดการเจือจางได้เร็ว ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของมลพิษลดลง ซึ่งจะสอดคล้องไปกับปริมาณเมฆปกคลุมในภาพที่ 22 ซึ่งจะมีปริมาณเมฆปกคลุมมากในช่วงฤดูฝนและมีปริมาณน้อยในฤดูหนาวและร้อน ปริมาณเมฆที่มากเป็นปัจจัยที่ปิดกั้นแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังผิวโลก มีผลทำให้ผิวโลกได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์น้อย ถ้าพิจารณาในฤดูร้อนจะพบว่าอุณหภูมิที่สูงและปริมาณเมฆน้อยเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้อากาศเกิดการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วความเข้มข้นของมลพิษจึงถูกเจือจางได้อย่างรวดเร็ว

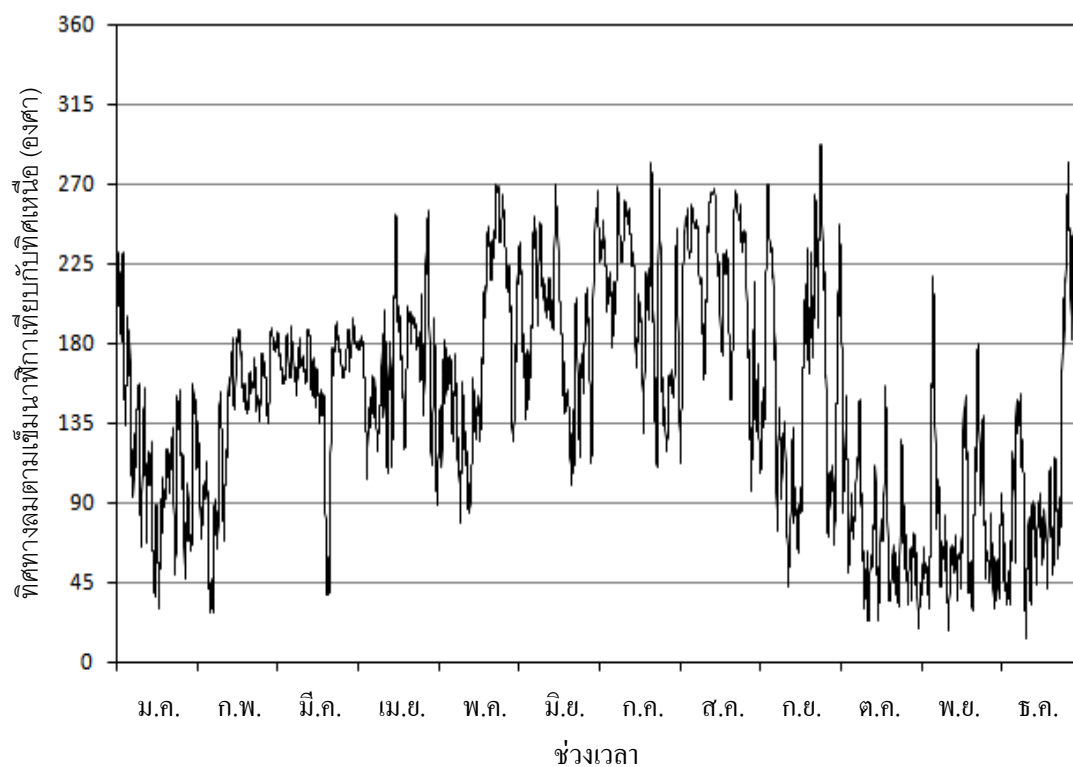
ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมดังในภาพที่ 23 และ ภาพที่ 24 เป็นปัจจัยที่กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของมลพิษซึ่งเคลื่อนที่ไปตามลมที่พัด การเปลี่ยนแปลงทิศทางลมและความเร็วลมในแต่ละเดือนจะมีผลให้มลพิษที่ตกลงในแต่ละที่แตกต่างกันไป ซึ่งทิศทางลมและความเร็วลมสามารถพิจารณาทิศทาง ความเร็ว และความถี่ในแต่ละทิศทางแสดงเป็นผังลมรายปีในภาพที่ 25 และความแตกต่างในแต่ละเดือนจากผังลมรายเดือนในภาพที่ 26



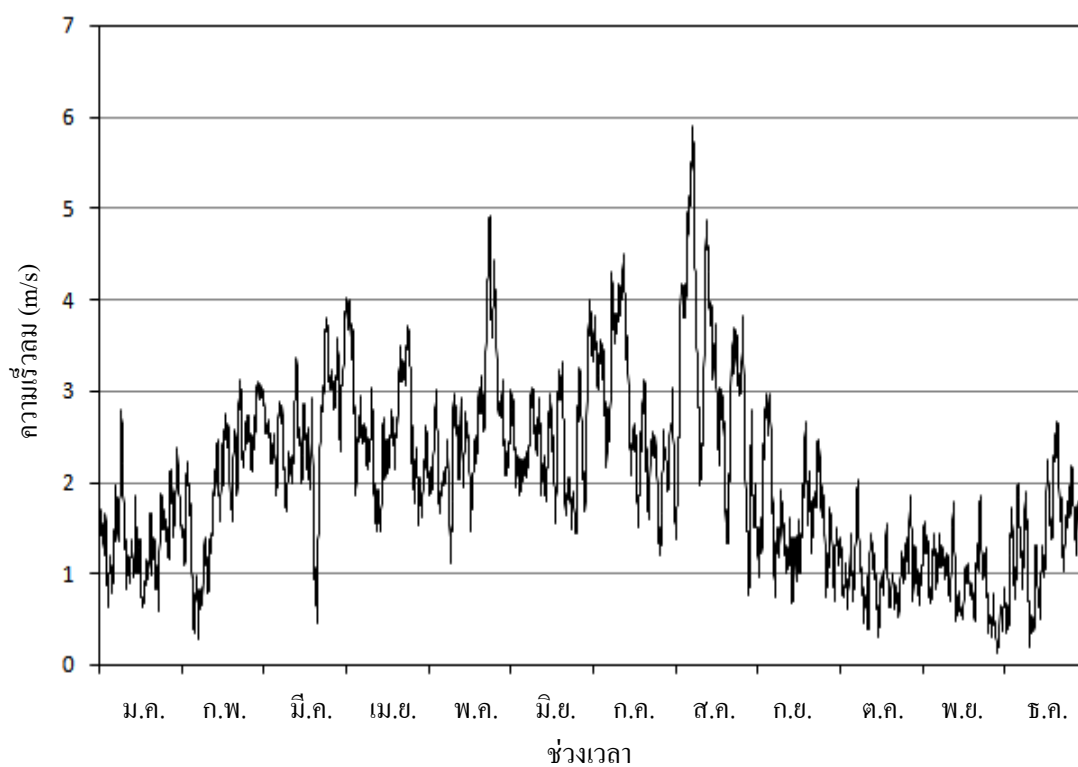
ภาพที่ 21 ข้อมูลอุณหภูมิรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550



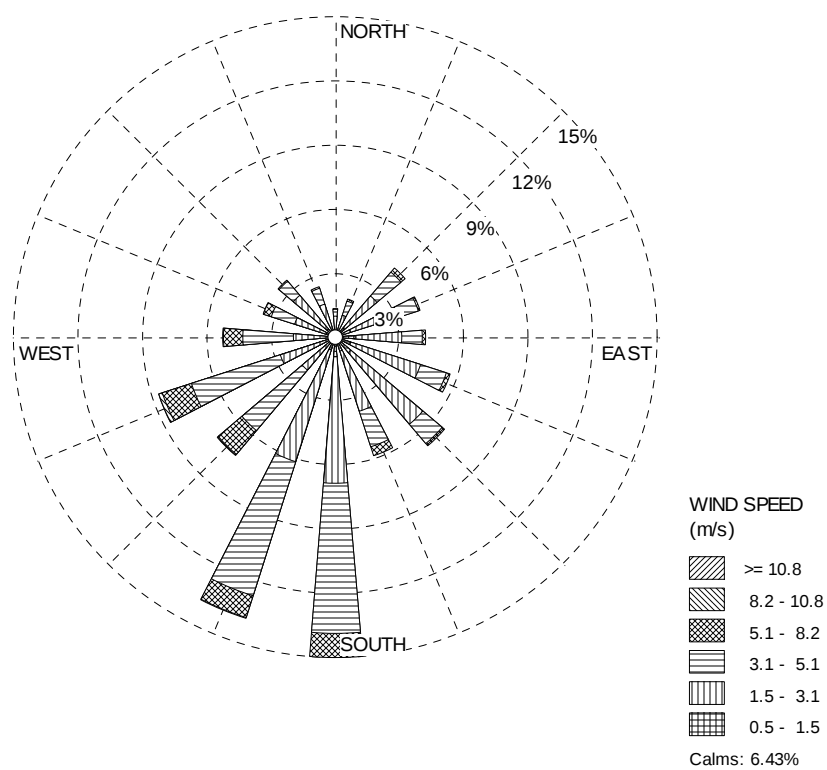
ภาพที่ 22 ข้อมูลปริมาณการปกคลุมของเมฆรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550



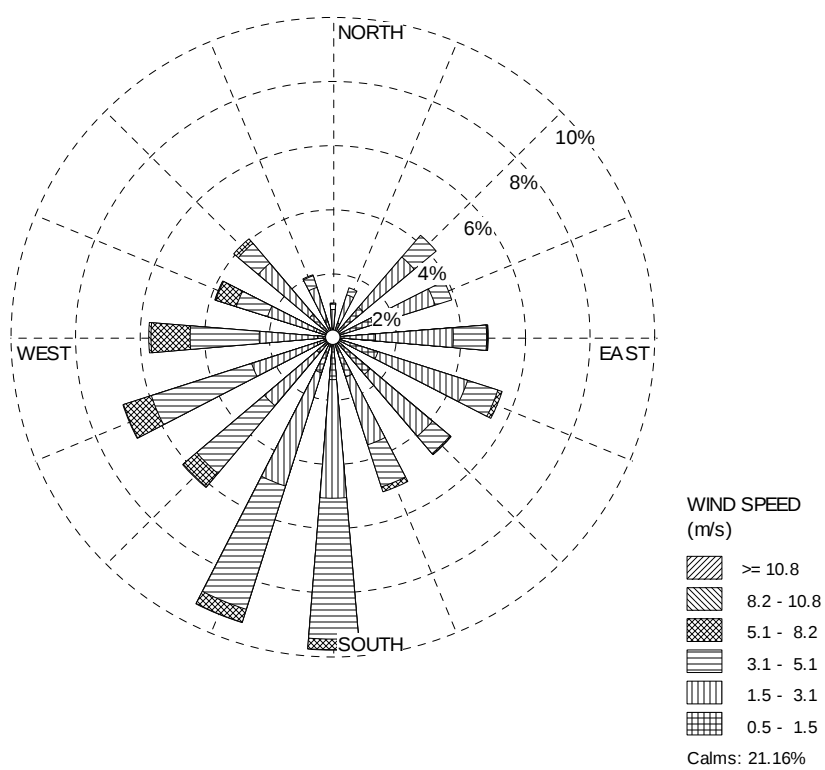
ภาพที่ 23 ข้อมูลทิศทางลมรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 24 ข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงนำเข้าสู่แบบจำลองในปี พ.ศ. 2550

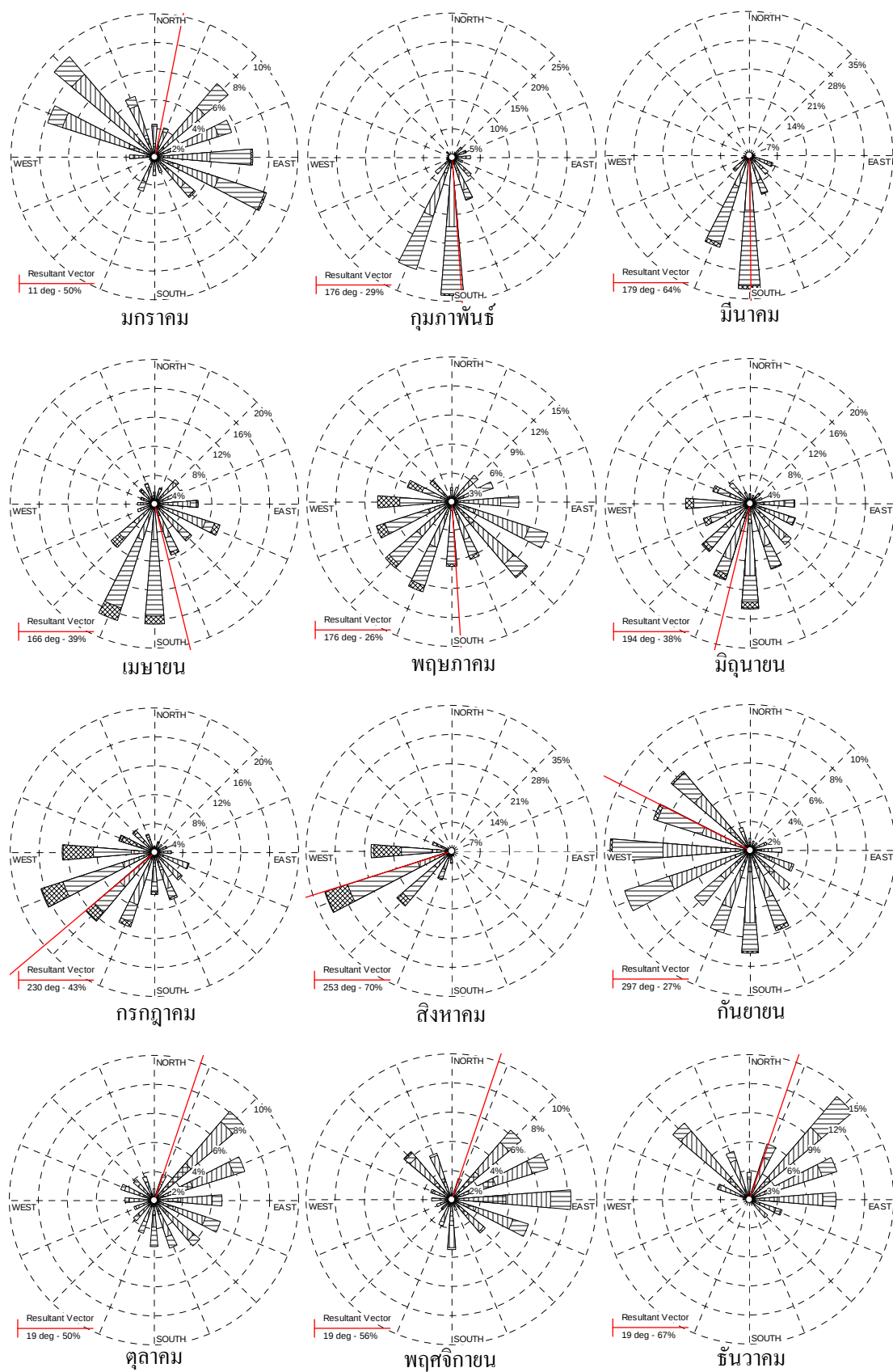


ก. ปี พ.ศ. 2548



ข. ปี พ.ศ. 2550

ภาพที่ 25 ผังลมรายปีจากข้อมูลลมของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง ปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550



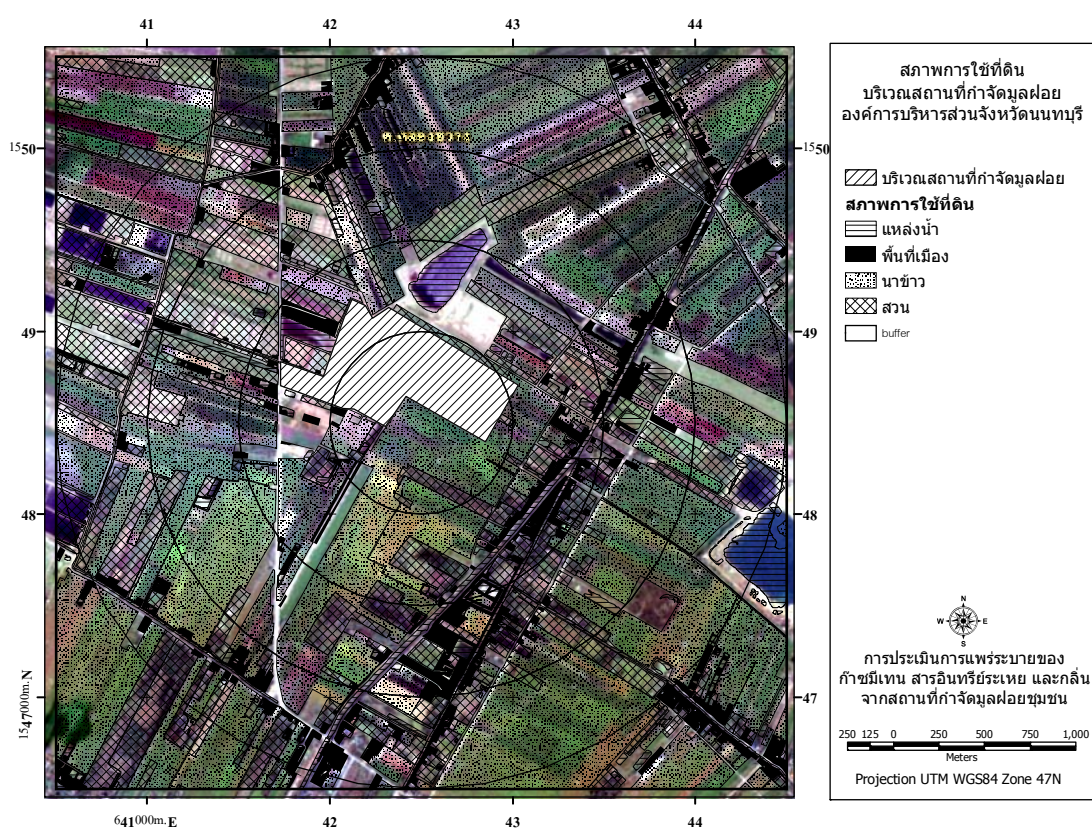
ภาพที่ 26 ฝั่งมรายเดือนจากข้อมูลลมของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง ปี พ.ศ. 2550

2.1.3 ข้อมูลสภาพภูมิประเทศและจุลภูมิ

สภาพการใช้ที่ดินตลอดทั้งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรมประเภทนาข้าวและสวน เมื่อพิจารณาไปทางทิศเหนือพบว่าส่วนใหญ่เป็นนาข้าวและมีชุมชนตั้งกระจายอยู่ สำหรับทางด้านตะวันตกติดกับแนวถนนเมื่อข้ามแนวถนนจะประกอบด้วยพื้นที่สวนและพื้นที่ว่างเปล่า เมื่อพิจารณาด้านทิศใต้จะเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเช่นกันแต่มีชุมชนที่สำคัญคือหมู่บ้านไทรน้อย สำหรับด้านทิศตะวันออกเป็นชุมชนที่อยู่หนาแน่นมากกว่าในทิศทางอื่น ได้แก่ บ้านคลองห้ำร้อย เนื่องจากอยู่ติดคลองห้ำร้อยซึ่งเป็นสภาพรูปแบบการตั้งบ้านเรือนของไทยที่โดยปกติจะตั้งอยู่ริมน้ำ พื้นที่ประกอบด้วยนาข้าวซึ่งติดกันเป็นผืนใหญ่และชุมชนตั้งอยู่ใกล้กับสถานที่กำจัดมูลฝอย (ตารางที่ 29 และ ภาพที่ 27)

จุลภูมิในแบบจำลองกำหนดเป็นแบบ Cartesian grid ครอบคลุมพื้นที่ 4x4 ตารางกิโลเมตร กำหนดความสูงจากระดับพื้นดิน 1.5 เมตร ระยะห่างระหว่างจุด 100 เมตร รวมมีจุลภูมิ 1681 จุด โดยมีตำแหน่งและทิศทางของจุลภูมิจากจุดกำเนิดในแบบจำลอง แสดงในภาพผนวกที่ 4 สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นนาข้าวและมีลักษณะทุ่งหญ้าสลับ ดังนั้นในการเปรียบเทียบแบบจำลอง AERMOD จะใช้ค่าที่แนะนำสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมและทุ่งหญ้า

สภาพภูมิประเทศและสภาพการใช้ที่ดินมีผลต่อการกำหนดข้อมูลสภาพพื้นที่นำเข้าสู่แบบจำลอง AERMOD โดยถ้าพิจารณาจากสภาพการใช้ที่ดินและค่าแนะนำของ ค่า Albedo (α) ค่า Bowen ratio (B_o) และค่า Surface roughness length (Z_o) ดังในตารางที่ 18 โดยกำหนดสภาพพื้นที่ เป็นแบบเกษตรกรรมและแบบทุ่งหญ้าและพิจารณาค่าโดยไม่ใช้ฤดูหนาวมาพิจารณาด้วย เนื่องจากสภาพของประเทศไทยไม่มีช่วงที่น้ำแข็งปกคลุม ค่า Albedo ที่แนะนำควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.20 ในขณะที่ค่า Bowen ratio ควรมีค่าในช่วง 0.2-0.5 ในสภาพที่ความชื้นสูง (ฤดูฝน) และมีค่าในช่วง 1.0-1.5 ในสภาพที่ความชื้นน้อย (ฤดูแล้ง) ส่วนค่าของ Surface roughness length พบว่ามีค่าได้ตั้งแต่ 0.03-0.20 โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่า Surface roughness length คือช่วงระยะเวลาของการปลูกพืช ตั้งแต่ช่วงเริ่มเพาะปลูกจนพืชเจริญเติบโตเต็มที่ ช่วงหลังเก็บเกี่ยว และช่วงเวลาที่ปล่อยพื้นที่ไว้โดยไม่ได้เพาะปลูก ซึ่งจะทำให้พื้นผิวมีสภาพเปลี่ยนไปและส่งผลให้ความเร็วลมพื้นผิว การพาความร้อน และการผสมของอากาศเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 27 สภาพการใช้ที่ดินบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี

ตารางที่ 29 ขนาดพื้นที่ของสภาพการใช้ที่ดินในรัศมีโดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย

(ไร่)

สภาพการใช้ที่ดิน	ตลอดพื้นที่	ภายในรัศมี (เมตร)			
		500	1000	1500	2000
นาข้าว	5442	325	856	2138	4144
สวน	2114	44	406	1025	1713
พื้นที่เมือง	628	6	125	288	481
แหล่งน้ำ	552	25	194	306	444
บ่อเลี้ยงปลา	53	0	25	50	50
ถนน	180	6	38	75	144
อื่น ๆ	1032	81	313	513	844
รวม	10000	488	1956	4394	7813

2.2 ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยจากแบบจำลอง

ผลการทำนายความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX แสดงในรูปข้อมูลสรุปทางสถิติและแผนที่ เพื่อแสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST โดยค่าทำนายการแพร่กระจายประกอบไปด้วยค่ารายชั่วโมงสูงสุด ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด และค่าเฉลี่ยรวมรายปี แสดงผลโดยใช้ค่าของเส้นความเข้มข้นเท่าในแผนที่ นอกจากนี้เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่มีค่าแตกต่างกันและช่วงห่างระหว่างเส้นความเข้มข้นเท่าในเชิงพื้นที่ต่างกัน จึงใช้การแสดงผลร่วมกับค่าความเข้มข้นเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 (P_5) ถึง เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 (P_{95}) ซึ่งค่าทางสถิติจากแบบจำลองได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ค่ามัธยฐาน ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ค่าเฉลี่ย และค่าปรับเทียบ (Normalized) แสดงไว้ใน ตารางผนวกที่ ข6 - ตารางผนวกที่ ข9 ซึ่งจะใช้ค่าปรับเทียบที่เท่ากับ 1 เพื่อแสดงถึงตำแหน่งพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับมลพิษสูงกว่าบริเวณอื่นในพื้นที่หรือกล่าวได้อีกทางหนึ่งว่าเป็นพื้นที่ที่มลพิษตกลงในพื้นที่

ค่าทำนายความเข้มข้นรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซมีเทนจากกองมูลฝอย D1-D5 ในปี พ.ศ. 2550 พบว่าค่ารายชั่วโมงสูงสุดจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าระหว่าง $1.28-13.30 \text{ mg/m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 4.47 mg/m^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST ที่มีค่าระหว่าง $0.65-11.51 \text{ mg/m}^3$ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 3.62 mg/m^3

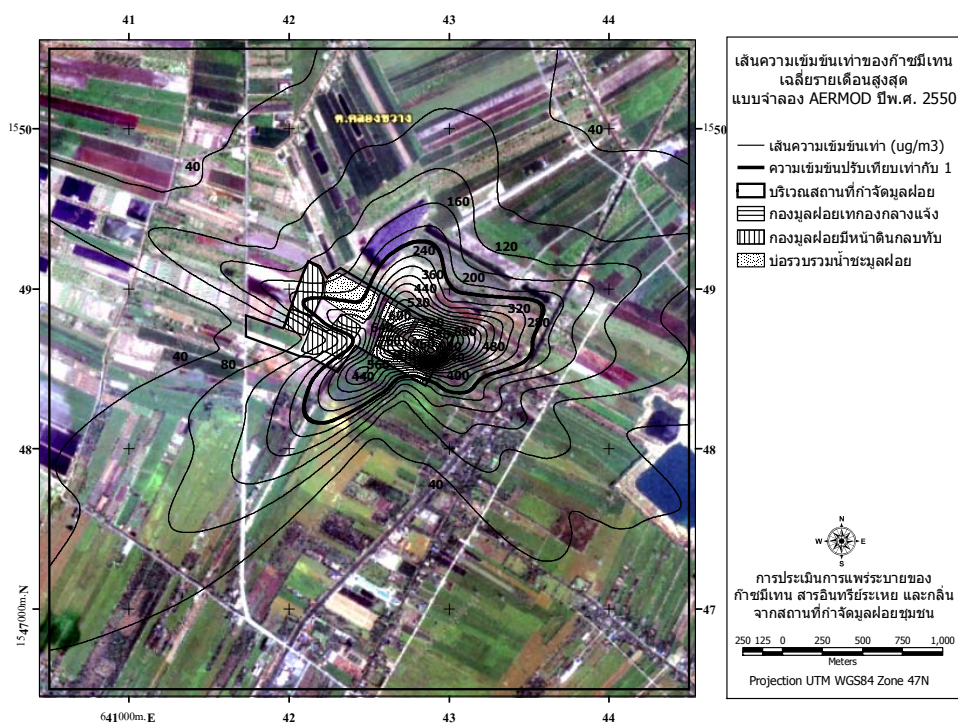
ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดบ่งบอกถึงค่าเฉลี่ยจากช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้นพบว่า ความเข้มข้นสูงสุดเฉลี่ย 8 ชั่วโมงจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าระหว่าง $0.16-6.45 \text{ mg/m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 1.25 mg/m^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST ที่มีค่าระหว่าง $0.09-5.34 \text{ mg/m}^3$ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.89 mg/m^3 เช่นเดียวกับกรณีค่ารายชั่วโมงสูงสุด

ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยที่เริ่มแสดงให้เห็นตำแหน่งที่มีโอกาสได้รับมลพิษชัดเจนขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าระหว่าง $0.06-3.26 \text{ mg/m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 0.50 mg/m^3 ซึ่งยังคงให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST ที่มีค่าระหว่าง $0.03-2.61 \text{ mg/m}^3$ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.36 mg/m^3

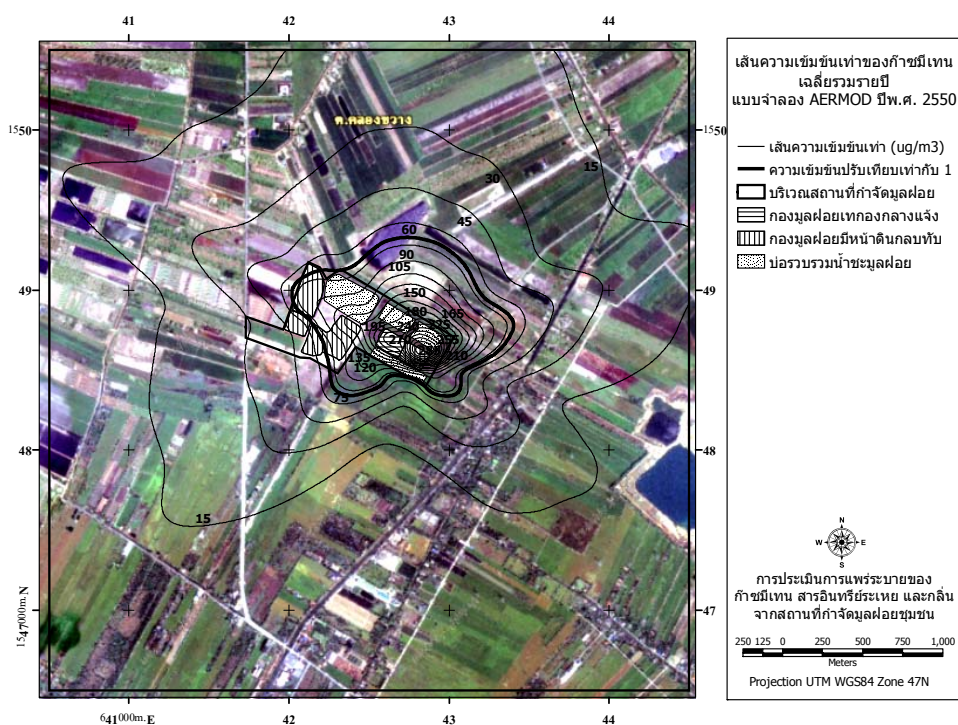
ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดแสดงค่าในเดือนที่มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยรายเดือนที่สูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับความเข้มข้นที่สูงและมีเวลาได้รับต่อเนื่องในเดือนที่สภาพภูมิอากาศและอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนทำให้พื้นที่นั้นได้รับความเข้มข้นสูงสำหรับก๊าซมีเทนมีค่าจากแบบจำลอง AERMOD อยู่ระหว่าง $0.004\text{--}0.956\text{ mg/m}^3$ โดยมีค่าเฉลี่ย 0.075 mg/m^3 สูงกว่าแบบจำลอง ISCST ที่มีค่าระหว่าง $0.003\text{--}0.700\text{ /m}^3$ โดยมีค่าเฉลี่ย 0.055 mg/m^3 กรณีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากภาพที่ 28 พบว่ามีโอกาสเกิดการแพร่กระจายไปทางทิศตะวันออกและตะวันตกเฉียงใต้มากกว่าในทิศทางอื่น

ค่าเฉลี่ยรวมรายปีเป็นค่าที่แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรวมทั้งปีจำนวน 8,760 ชั่วโมงในปี พ.ศ. 2550 ค่าเฉลี่ยนี้เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยเวลา (Time weight average) โดยมีองค์ประกอบของความเข้มข้นในแต่ละชั่วโมงและจำนวนชั่วโมงที่ได้รับสารในช่วงเวลา 1 ปีซึ่งเมื่อพิจารณาจากแผนที่เส้นความเข้มข้นเท่าเฉลี่ยรวมรายปีในภาพที่ 28 พบว่ารูปแบบการแพร่กระจายมีโอกาสเกิดทางทิศเหนือมากกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน แสดงให้เห็นว่าทิศทางเหนือมีโอกาสได้รับสารอย่างต่อเนื่องมากกว่า ในขณะที่ทิศทางใต้มีโอกาสได้รับความเข้มข้นสูงกว่าแต่มีช่วงระยะเวลาได้รับสารที่สั้นกว่า

ค่าการทำนายจากแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST จากการพิจารณาก๊าซมีเทน พบว่าที่ทุกระยะเวลาเฉลี่ยค่าการทำนายจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST ภายใต้อัตราการแพร่กระจายและสภาพทางอุตุนิยมวิทยานำเข้าที่เหมือนกัน และแม้ว่าแบบจำลองทั้งสองจะมีพื้นฐานบนสมการการแพร่กระจายแบบ Gaussian เหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาข้อแตกต่างของแบบจำลองทั้งสองจะพบว่า แบบจำลอง ISCST นั้นใช้หลักการของการแบ่งค่าความคงตัวของบรรยากาศเป็นกลุ่มตาม Pasquill-Gifford แล้วใช้สมการความสัมพันธ์ของระยะทางจากจุดปล่อยมลพิษกับการแพร่กระจาย ซึ่งจุดรับมลพิษจุดหนึ่งถ้าระยะเวลาคงตัวชั่วโมงถูกจัดอยู่ในความคงตัวของบรรยากาศเดียวกันและความเร็วลมเท่ากันก็จะมีค่าความเข้มข้นจากการทำนายเท่ากัน ทั้งที่ในความเป็นจริงในความคงตัวของบรรยากาศเดียวกันอากาศมีการแพร่กระจายต่างกัน ส่วนแบบจำลอง AERMOD ใช้การคำนวณการแพร่กระจายจากทฤษฎีของบรรยากาศที่ผิวโลก ทำให้จุดรับมลพิษจุดหนึ่งในแต่ละชั่วโมงมีค่าการแพร่กระจายเฉพาะที่แตกต่างกันไปเป็นค่าต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายในส่วนของการเปรียบเทียบแบบจำลอง จะพบว่าเส้นความเข้มข้นเท่าจากแบบจำลอง AERMOD มีความต่อเนื่องมากกว่าแบบจำลอง ISCST



ก. ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด

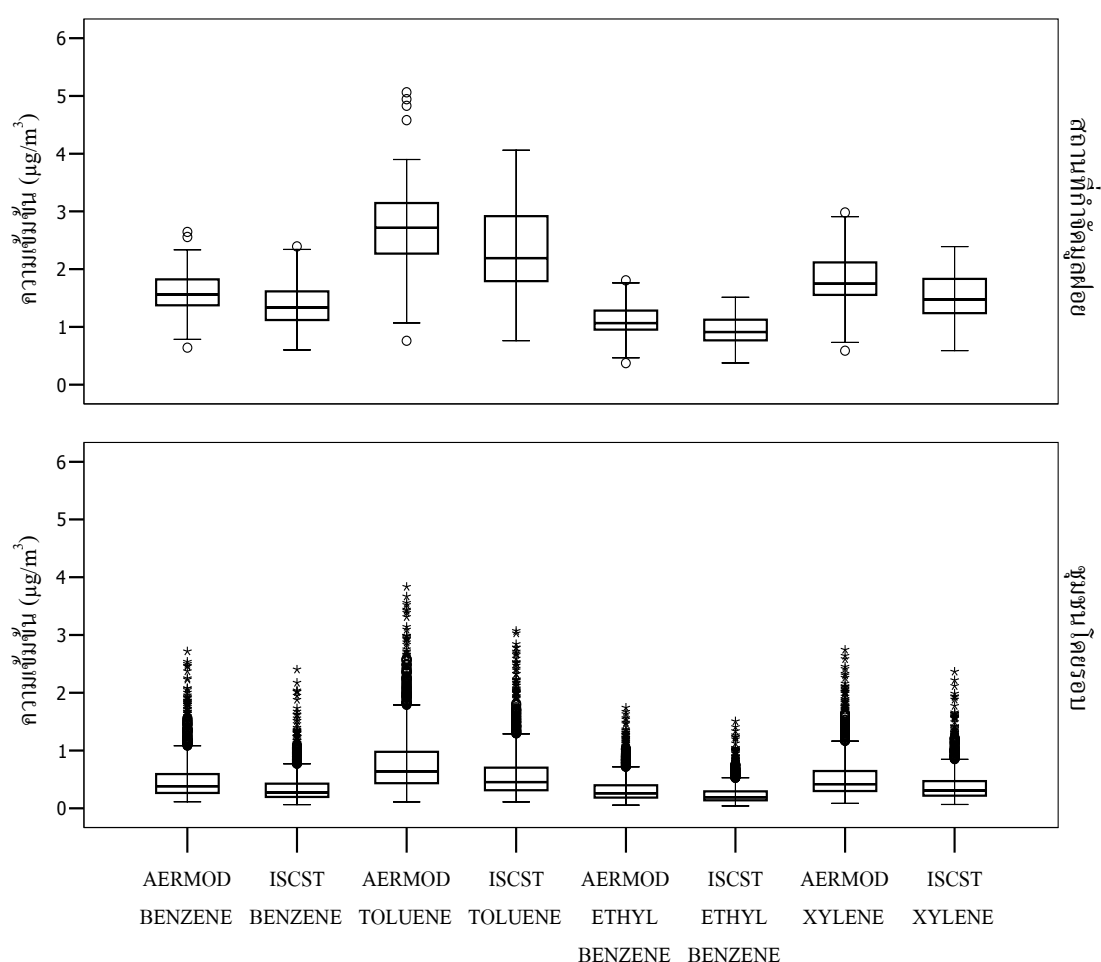


ข. ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี

ภาพที่ 28 เส้นความเข้มข้นเท่าของก๊าซมีเทนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรายปี

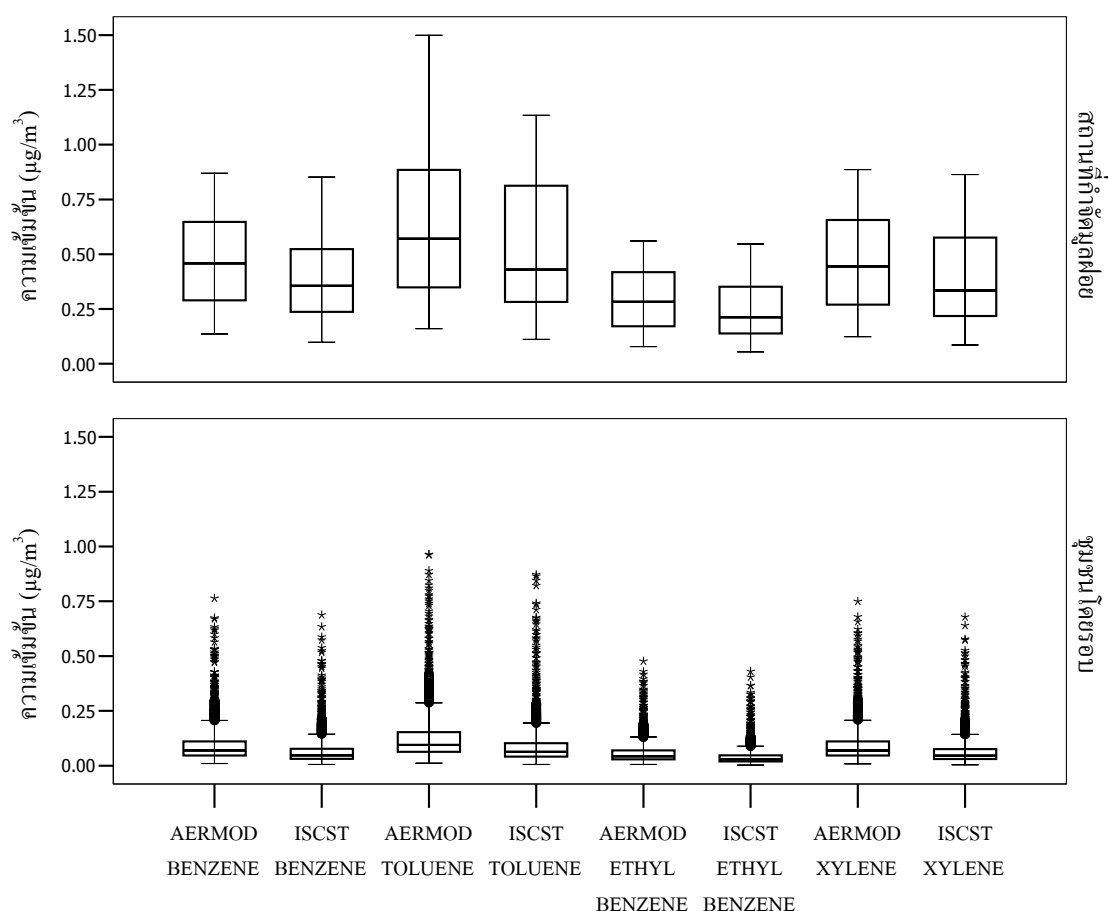
จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX นอกจากรูปแบบการแพร่กระจายของสารในรูปแบบที่เส้นความเข้มข้นเท่าที่แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด เพื่อให้เห็นระดับการแพร่กระจายสูงสุดในเดือนที่มีการแพร่กระจายในทิศทางนั้นมากที่สุด และข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปีของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีนจากแบบจำลอง AERMOD ดังในภาพผนวกที่ 6-ภาพผนวกที่ 9 ตามลำดับ พบว่าสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX แต่ละชนิดมีรูปแบบการแพร่กระจายคล้ายกัน แต่มีรูปแบบการแพร่กระจายต่างจากก๊าซมีเทน โดยเฉพาะการแพร่กระจายทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายสูงกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของฤดูกาลที่มีต่ออัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยที่ต่างกัน



ภาพที่ 29 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง

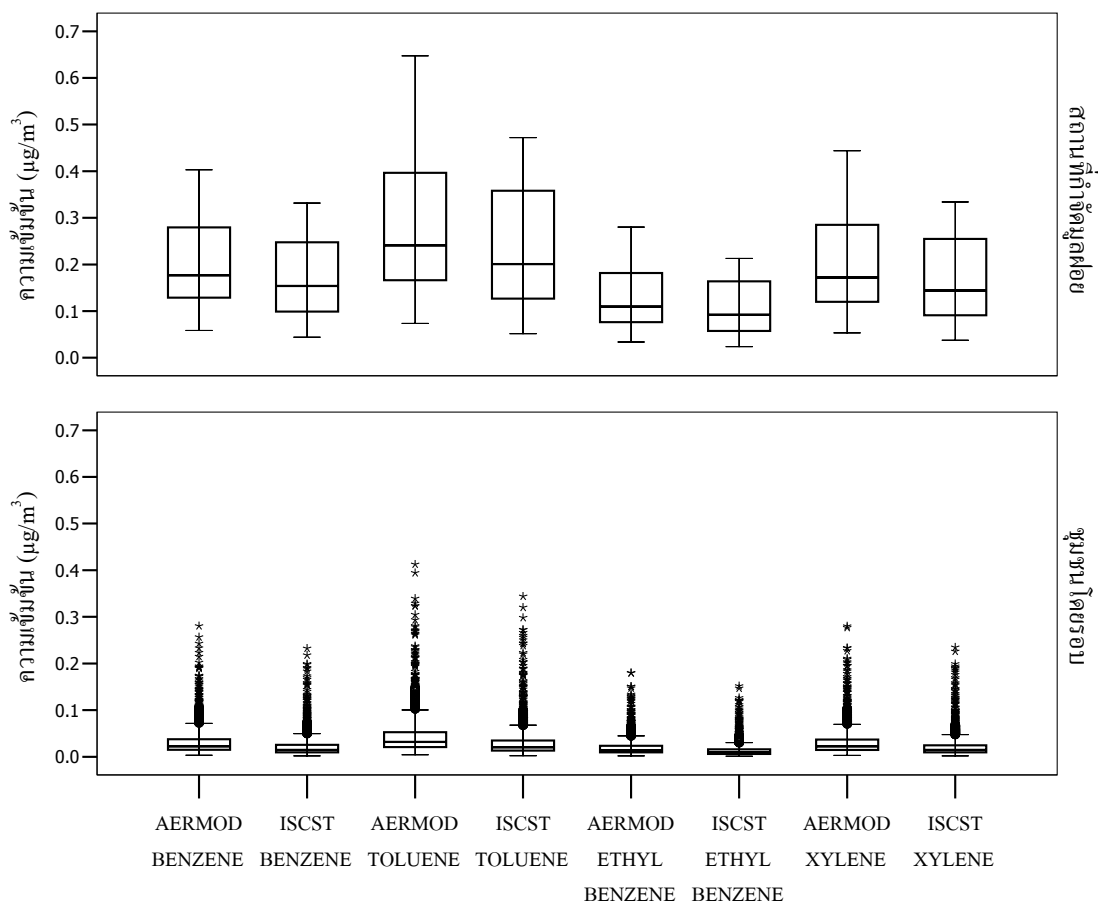
ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากแบบจำลองในภาพที่ 29 พบว่าค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดในสถานที่กำจัดมูลฝอยจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าระหว่าง $0.64\text{--}2.64\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.76\text{--}5.06\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.37\text{--}1.81\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.59\text{--}2.98\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย $1.62\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.75\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.13\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $1.82\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST สำหรับชุมชนโดยรอบพบว่ามีค่าระหว่าง $0.11\text{--}2.71\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.11\text{--}3.84\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.05\text{--}1.74\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.09\text{--}2.75\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ย $0.49\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.33\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.54\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST เช่นกัน



ภาพที่ 30 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จากแบบจำลองในภาพที่ 30 พบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดในสถานที่กำจัดมูลฝอยจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าระหว่าง $0.14\text{--}0.87\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.16\text{--}1.50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.08\text{--}0.56\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.12\text{--}0.89\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย $0.47\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.64\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.47\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าสูงกว่า

แบบจำลอง ISCST สำหรับชุมชนโดยรอบพบว่ามีค่าระหว่าง $0.009-0.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.01-0.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.005-0.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.009-0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ย $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST เช่นกัน



ภาพที่ 31 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปีของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากแบบจำลอง

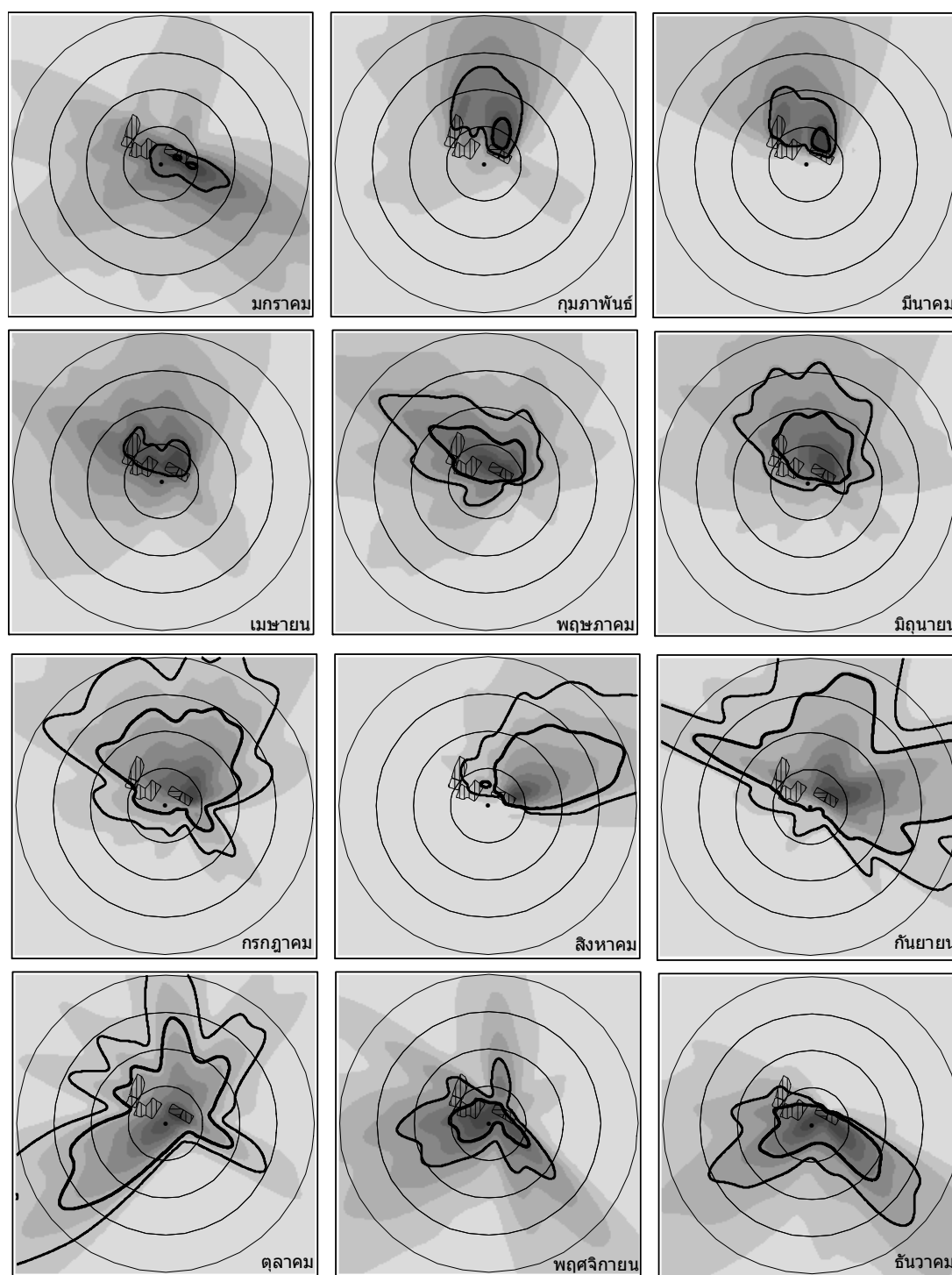
ภาพที่ 31 เป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปีที่ได้จากแบบจำลองของเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน พบว่าค่าเฉลี่ยรวมรายปีในสถานที่กำจัดมูลฝอยจากแบบจำลอง AERMOD มีค่าระหว่าง $0.06-0.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.07-0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.03-0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.05-0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย $0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST สำหรับชุมชนโดยรอบพบว่ามีค่าระหว่าง $0.003-0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.004-0.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.002-0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.003-0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ย $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง ISCST เช่นกัน

2.3 อิทธิพลของฤดูกาลต่อการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหย

การประเมินอิทธิพลของฤดูกาลต่อรูปแบบการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยใช้แบบจำลอง AERMOD จากสภาพภูมิอากาศในแต่ละเดือนที่มีความแตกต่างกันโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ. 2550 แล้วทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละเดือนด้วยค่าเฉลี่ยรวมรายปีของปี พ.ศ. 2550 แสดงออกมาเป็นแผนที่การแพร่กระจายก๊าซมีเทนรายเดือนดังในภาพที่ 32 และแผนที่การแพร่กระจายของเบนซีนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ดังในภาพที่ 33

การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจะพบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนมีระดับความเข้มข้นของก๊าซมีเทนกระจายสู่พื้นที่โดยรอบน้อยซึ่งเป็นผลจากสภาพอากาศร้อนทำให้อากาศเกิดการพาความร้อนได้มากทำให้ความเข้มข้นต่ำ ร่วมกับอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนในฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าในฤดูฝน เมื่อถึงฤดูฝนในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมที่มีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนสูงทำให้การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนสูงไปด้วยโดยเฉพาะในเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่เห็นชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้การแพร่กระจายก๊าซมีเทนสูงและมีทิศทางการรับมลพิษไปสู่ด้านตะวันตกเฉียงใต้อย่างชัดเจน เช่นเดียวกับเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมเป็นเดือนที่มีทิศทางการแพร่กระจายมลพิษค่อนข้างมาทางด้านใต้ของกองมูลฝอย ซึ่งสภาพภูมิอากาศส่งเสริมให้การแพร่กระจายเกิดได้มากแต่อัตราการแพร่กระจายลดลงเนื่องจากเป็นฤดูแล้ง ในช่วงนี้จึงมีการแพร่กระจายมากกว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายนแต่น้อยกว่าในช่วงฤดูฝน

การแพร่กระจายของเบนซีนในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมจากแบบจำลองพบว่ามีความต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น เนื่องจากในฤดูฝนมีอัตราการแพร่กระจายเบนซีนจากกองมูลฝอยน้อยกว่าในฤดูแล้ง ในขณะที่เดือนพฤศจิกายนและธันวาคมเป็นเดือนที่มีการแพร่กระจายของเบนซีนมากที่สุดเนื่องจากอิทธิพลเสริมของอัตราการแพร่กระจายเบนซีนในฤดูแล้งที่สูงกว่าฤดูฝนประกอบกับสภาพภูมิอากาศที่เป็นฤดูหนาวและมีลมพัดแรง ทำให้ความคงตัวของบรรยากาศมีความเสถียรจึงมีความเข้มข้นของเบนซีนในบรรยากาศสูง นอกจากนี้ทิศทางลมที่เปลี่ยนไปยังทำให้พื้นที่ทางด้านใต้ที่ปกคดียู่เหนือลมกลายมาเป็นทิศทางที่ได้รับเบนซีนที่มีความเข้มข้นมากกว่าทิศเหนือ สำหรับในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายนเป็นฤดูแล้งซึ่งอัตราการแพร่กระจายเบนซีนสูงกว่าแต่เนื่องจากสภาพอากาศที่เป็นฤดูร้อนซึ่งส่งเสริมให้บรรยากาศเกิดความไม่คงตัว ทำให้เบนซีนจากการแพร่กระจายเกิดการผสมกับอากาศได้ดีความเข้มข้นจึงต่ำกว่าในช่วงเดือนธันวาคม

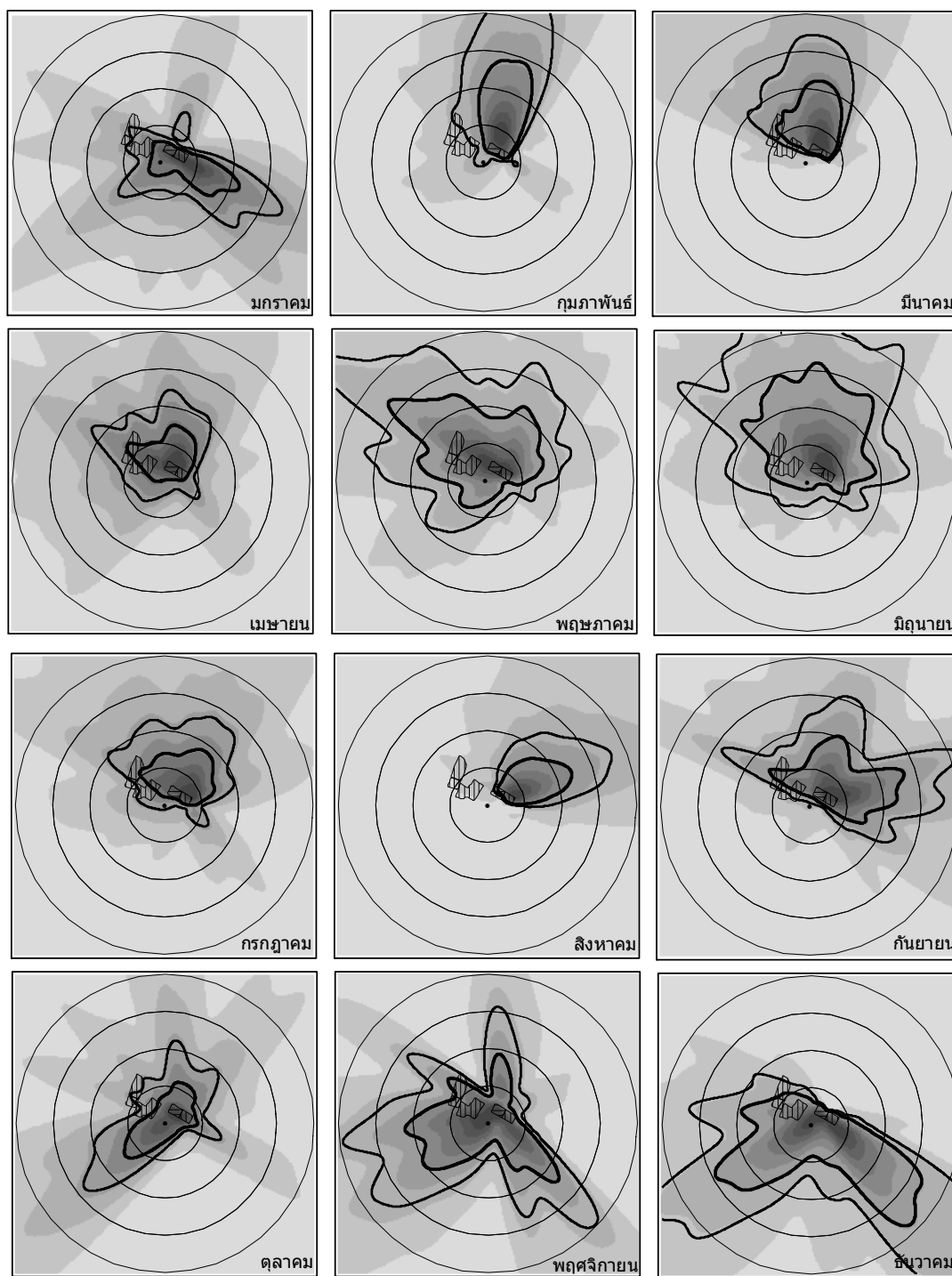


รัศมีวงกลมห่างกันวงละ 500 เมตร

ความเข้มข้นเปรียบเทียบด้วยค่าเฉลี่ยรายปี $69.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

———— 0.5 ———— 1

ภาพที่ 32 เส้นความเข้มข้นเท่าเปรียบเทียบเฉลี่ยรายเดือนของก๊าซมีเทนจากแบบจำลอง AERMOD
ในปี พ.ศ. 2550



ความเข้มข้นเปรียบเทียบด้วยค่าเฉลี่ยรวมรายปี $0.1112 \mu\text{g}/\text{m}^3$

รัศมีวงกลมห่างกันวงละ 500 เมตร

— 0.5 — 1

ภาพที่ 33 เส้นความเข้มข้นเท่าเปรียบเทียบเฉลี่ยรายเดือนของเบนซีนจากแบบจำลอง AERMOD
ในปี พ.ศ. 2550

2.4 การแพร่กระจายของก๊าซจากกองมูลฝอยในปี พ.ศ. 2548 และ ปี พ.ศ.2550

การเปรียบเทียบการแพร่กระจายของก๊าซจากกองมูลฝอยกองเก่าและเมื่อมีกองมูลฝอยใหม่ ใช้การคำนวณความเข้มข้นเปรียบเทียบในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550 ซึ่งพบว่าปัจจัยที่เปลี่ยนไปที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างประกอบไปด้วยภูมิอากาศในแต่ละปี ตำแหน่งที่ตั้งและอัตราการแพร่ระบายของก๊าซจากกองมูลฝอยที่เปลี่ยนไป

สภาพภูมิอากาศตามผังลมพบว่าในปี พ.ศ. 2548 ทิศทางลมเฉลี่ยส่วนใหญ่มาจากทางใต้ มีความเร็วลมเฉลี่ย 2.70 m/s ความคงตัวของบรรยากาศแบบ Pasquill-Gifford เป็นระดับ F (มีความเสถียร) ร้อยละ 20.4 รองลงมาคือ ระดับ B (มีความไม่เสถียรปานกลาง) ร้อยละ 17.6 ส่วนระดับ A (มีความไม่เสถียรมาก) น้อยที่สุดร้อยละ 3.0 ในขณะที่ปี พ.ศ. 2550 มีทิศทางลมเฉลี่ยมาจากทางทิศใต้เช่นกัน มีความเร็วลมเฉลี่ย 2.01 m/s ความคงตัวของบรรยากาศเป็นระดับ F (มีความเสถียร) ร้อยละ 18.1 รองลงมาคือ ระดับ B (มีความไม่เสถียรปานกลาง) ร้อยละ 16.7 ส่วนระดับ A (มีความไม่เสถียรมาก) น้อยที่สุดร้อยละ 4.6 ซึ่งจะพบว่าภูมิอากาศของทั้งสองปีมีความใกล้เคียงกัน แต่ในปี พ.ศ. 2548 มีสภาพรุนแรงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าและทิศทางลมเฉลี่ยมีจำนวนชั่วโมงที่ลมพัดไปในทิศทางเดียวมากกว่า

ตำแหน่งที่ตั้งของกองมูลฝอยและการเปลี่ยนแปลงอัตราการแพร่ระบายของมูลฝอยพบว่ากองมูลฝอยกองใหม่ที่เกิดขึ้นทอดตัวตามแนวขวางทิศทางลมเฉลี่ยและอยู่ในบริเวณที่เคยเป็นนาข้าว มีระยะทางเข้าใกล้ชุมชนทางทิศตะวันออกมากขึ้นประมาณ 500 เมตร ส่วนอัตราการแพร่ระบายของมูลฝอยกองเก่าและกองใหม่เป็นไปตามตารางที่ 28

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของการแพร่กระจายก๊าซจากสถานที่กำจัดมูลฝอยในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550 โดยการทดสอบความแตกต่างประชากรแบบจับคู่พบว่าทุกระยะเวลาเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การเปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบสูงสุดจากการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยง่ายทำการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ระหว่างปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ.2550 ซึ่งตามอัตราการแพร่ระบายพบว่าอัตราการแพร่ระบายต่างกัน จึงทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบเมื่อมีกองมูลฝอยกองใหม่เกิดขึ้นโดยเฉพาะผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในเขตชุมชนโดยใช้ค่าความเข้มข้น

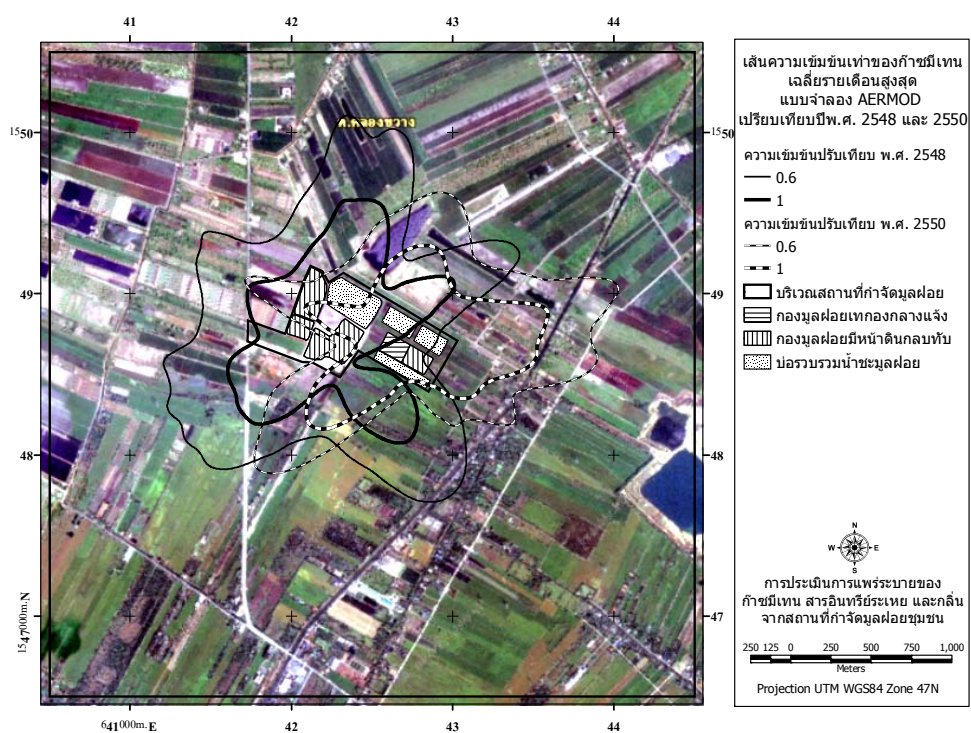
เปรียบเทียบที่มีค่ามากกว่า 1 ในการแสดงรูปแบบที่ต่างกันแล้วสรุปผลเชิงพื้นที่ที่เปรียบเทียบกับสภาพการใช้ที่ดิน (ตารางที่ 30 และ ภาพที่ 34)

แผนที่เปรียบเทียบตำแหน่งของการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและเบนซีน แสดงให้เห็นว่ากองมูลฝอยกองใหม่มีผลทำให้ตำแหน่งและรูปแบบการแพร่กระจายเปลี่ยนไป โดยมีการเคลื่อนตำแหน่งมาทางด้านทิศตะวันออกมากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาจากแผนที่ในภาพที่ 34 คือพื้นที่หมู่บ้านทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ และชุมชนทางด้านทิศตะวันออกมีโอกาสได้รับผลกระทบจากการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX มากขึ้น

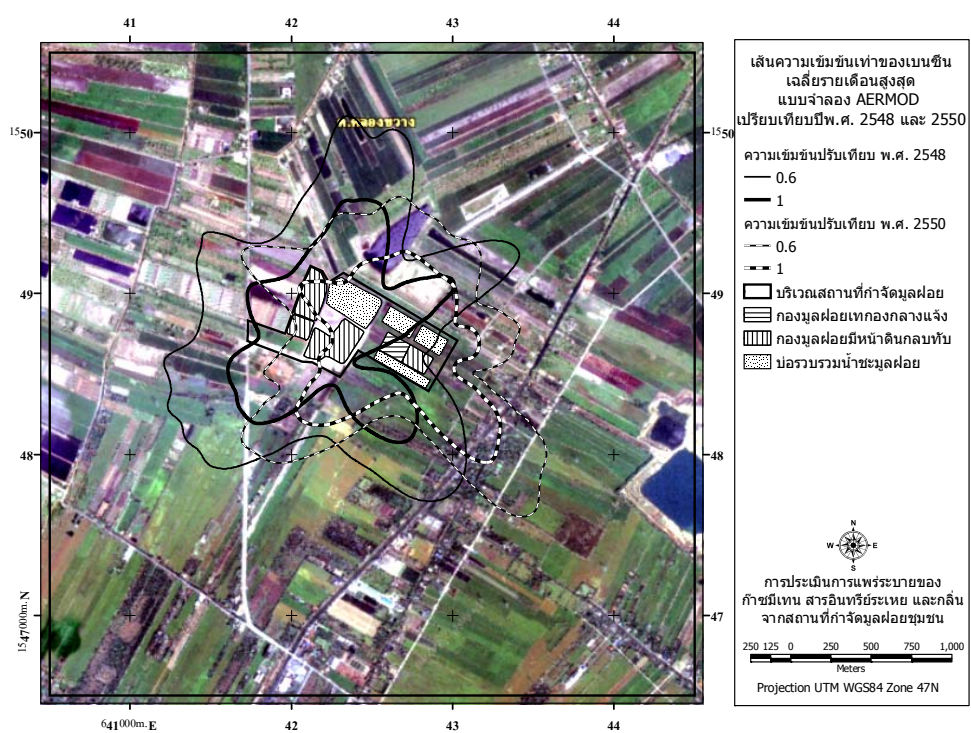
ตารางที่ 30 สภาพการใช้ที่ดินในบริเวณที่ความเข้มข้นเปรียบเทียบของก๊าซมีเทนและเบนซีน
มีค่ามากกว่า 1 เปรียบเทียบระหว่างปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550 จากแบบจำลอง
AERMOD และ ISCST

(ไร่)

สภาพการใช้ที่ดิน	มีเทน				เบนซีน			
	AERMOD		ISCST		AERMOD		ISCST	
	2548	2550	2548	2550	2548	2550	2548	2550
นา	236	280	177	291	235	282	177	301
สวน	105	113	80	100	105	66	80	67
พื้นที่เมือง	25	17	25	11	25	28	26	23
แหล่งน้ำ	114	35	114	30	114	78	114	52
บ่อเลี้ยงปลา	1	9	0	9	1	2	0	3
ถนน	9	7	9	7	9	6	9	6
อื่น ๆ	195	102	173	106	195	124	174	129
รวม	686	563	578	554	684	588	580	581



ก. ก๊าซมีเทน



ข. เบนซีน

ภาพที่ 34 เส้นความเข้มข้นเท่าเปรียบเทียบเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดของก๊าซมีเทนและเบนซีน
จากแบบจำลอง AERMOD เปรียบเทียบในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพและเปรียบเทียบแบบจำลอง

การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จริงของเบนซีน โทลูอิน และไซลีน กับค่าที่ได้จากการทำนายความเข้มข้นด้วยแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST โดยใช้ผลการตรวจวัดที่ตรวจพบจากตารางที่ 27 กับค่าที่ได้จากแบบจำลองแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข11 โดยค่าของแบบจำลอง AERMOD ในตาราง เป็นค่าที่มีการเปรียบเทียบแล้วดังในข้อมูลการเปรียบเทียบในตารางที่ 32

ชุดข้อมูลเปรียบเทียบในตารางที่ 32 ของเบนซีน โทลูอิน และไซลีน พบว่าสารแต่ละตัวได้ค่าจากแบบจำลองที่ดีที่สุดจากชุดข้อมูลเปรียบเทียบต่างกันคือ เบนซีน ได้ผลที่ดีที่สุดจากชุดเปรียบเทียบที่ 8 โทลูอิน ได้ผลที่ดีที่สุดจากชุดเปรียบเทียบที่ 4 ส่วนไซลีน ได้ผลที่ดีที่สุดจากชุดเปรียบเทียบที่ 5 ดังนั้นเพื่อให้ได้ชุดเปรียบเทียบที่เป็นตัวแทนของทุกสารจึงทำการเปรียบเทียบจนได้ชุดเปรียบเทียบที่ 9 ซึ่งให้ผลโดยรวมดีที่สุดที่สามารถใช้ได้กับสารทุกชนิด

การเปลี่ยนแปลงลดลงของค่า Albedo ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นจากแบบจำลองมีค่าลดลง เนื่องจากค่า Albedo เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการสะท้อนรังสีกลับโดยไม่ดูดกลืนไว้ในกรณีที่มีค่าสูงแสดงว่าพื้นที่สามารถสะท้อนรังสีออกไปได้มากดูดซับไว้ได้น้อย ทำให้อากาศที่พื้นผิวได้รับอิทธิพลจากความร้อนน้อยกว่า เกิดการพาความร้อนได้น้อยกว่าจึงมีความเข้มข้นสูงกว่า

การเปลี่ยนแปลงค่า Bowen ratio ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง Sensible heat flux ต่อ Latent heat flux พบว่าถ้าทำการปรับเพิ่มค่าจะทำให้ความเข้มข้นที่ทำนายได้จากแบบจำลองลดลง เนื่องจากค่าที่เพิ่มขึ้นหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้อากาศเกิดการพาความร้อนได้มากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่สะท้อนความร้อนได้มากเช่นคอนกรีต ดินที่ไม่มีพืชปกคลุมและมีสภาพแห้ง การปรับค่า Bowen ratio จะส่งผลต่อค่าความเข้มข้นที่ทำนายได้มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของ Albedo

ค่า Surface roughness length เป็นค่าที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสภาพพื้นผิว ค่าที่เพิ่มขึ้นหมายถึงความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวที่มากขึ้นมีผลทำให้อากาศเกิดการผสมกันได้มากขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นที่ทำนายได้มีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงค่า Surface roughness length เป็นค่าที่มีผลต่อแบบจำลองมากที่สุดโดยเฉพาะในสภาวะบรรยากาศไม่คงตัว การเปลี่ยนแปลงค่านี้จะมีผลให้มีการแพร่กระจายในแนวตั้งเพิ่มขึ้นอย่างมากทำให้มลพิษถูกเจือจางได้มาก (U.S. EPA, 2004a)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองกับการตรวจวัด เบนซีน โทลูอินและไซลีน พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.334, 0.307 และ 0.331 สำหรับแบบจำลอง AERMOD และมีค่า 0.193, 0.306 และ 0.234 สำหรับแบบจำลอง ISCST เมื่อเปรียบเทียบกรณีเดียวกันแล้วแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง AERMOD มีความสัมพันธ์กับการตรวจวัดจริงมากกว่า และเมื่อทดสอบด้วย Root mean square error พบว่าแบบจำลอง AERMOD ให้ผลการทดสอบที่ 0.169, 0.368 และ 0.221 เปรียบเทียบกับแบบจำลอง ISCST ซึ่งมีค่า 0.364, 0.953 และ 0.583 แสดงว่าแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดจริงมากกว่า (ตารางที่ 31)

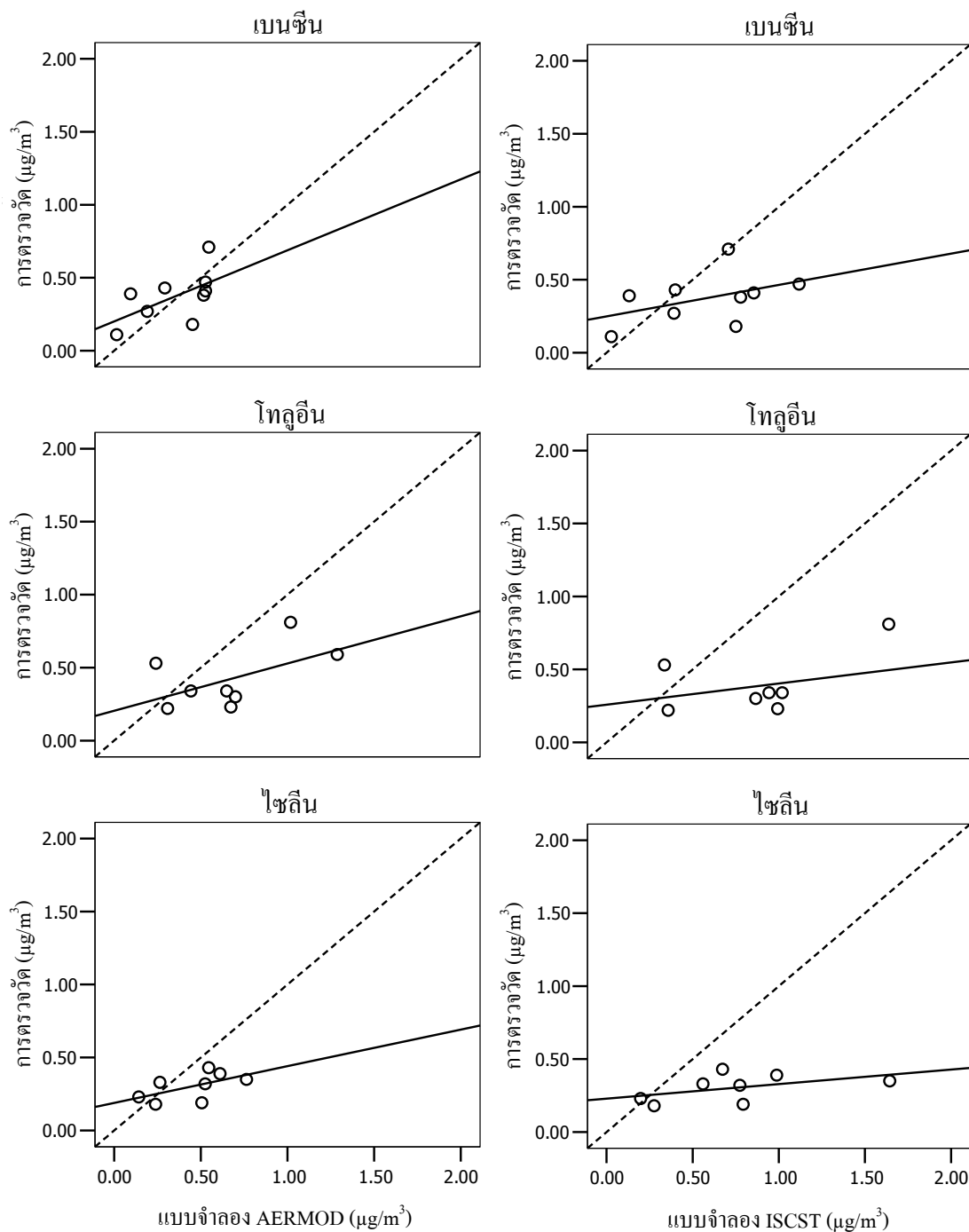
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลองดังในภาพที่ 35 แสดงให้เห็นว่าค่าจากแบบจำลองให้ค่าที่สูงกว่าค่าจากการตรวจวัด โดยแบบจำลอง ISCST มีค่าสูงกว่าการตรวจวัดจริงมากกว่าแบบจำลอง AERMOD แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างแบบจำลองทั้งสองให้ค่าการทำนายความเข้มข้นที่สูงกว่าการตรวจวัดภายใต้ข้อมูลอัตราการแพร่ระบายจากกองมูลฝอยที่นำเข้าสู่แบบจำลอง

ตารางที่ 31 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่าความเข้มข้นจากการตรวจวัดของเบนซีน โทลูอิน และไซลีน

ชนิดก๊าซ	AERMOD			ISCST		
	R ²	RMSE	Regression	R ²	RMSE	Regression
เบนซีน	0.334	0.169	Y=0.486X+0.201	0.193	0.364	Y=0.215X+0.249
โทลูอิน	0.307	0.368	Y=0.323X+0.204	0.306	0.953	Y=0.144X+0.258
ไซลีน	0.331	0.221	Y=0.251X+0.189	0.234	0.583	Y=0.099X+0.229

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งสองในตารางที่ 31 และภาพที่ 35 แสดงข้อมูลให้เห็นว่าข้อมูลในช่วงเวลา 4 ชั่วโมงที่เก็บตัวอย่าง แบบจำลอง ISCST ให้ค่าที่สูงกว่าแบบจำลอง AERMOD และมากกว่าค่าจากการตรวจวัดจริง ส่วนแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าที่สูงกว่าค่าจากการตรวจวัดจริงแต่ต่ำกว่าแบบจำลอง ISCST แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ที่ทำการคำนวณค่าตลอดทั้งปีกลับพบว่าแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าแบบจำลอง ISCST แสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ แบบจำลอง ISCST มีโอกาสที่จะให้ค่าการคำนวณที่สูงกว่าแบบจำลอง AERMOD แต่เมื่อระยะเวลา

เฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น แบบจำลอง ISCST ให้ค่าเฉลี่ยที่ลดลงต่ำกว่าแบบจำลอง AERMOD ซึ่งเป็นผลจากการที่แบบจำลอง ISCST คำนวณความเข้มข้นจากระดับความคงตัวของบรรยากาศซึ่งเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง ในขณะที่แบบจำลอง AERMOD ใช้ทฤษฎีบรรยากาศพื้นผิวซึ่งคำนวณค่าได้ต่อเนื่อง



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน และไซลีน จากการตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST

ตารางที่ 32 การปรับเทียบแบบจำลอง AERMOD

ชุดปรับเทียบ	Albedo		Bowen ratio		Surface roughness length		เบนซิน		โทลูอิน		ไซลีน	
	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.272	0.185	0.332	0.409	0.333	0.247
2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.275	0.182	0.330	0.396	0.333	0.238
3	0.2	0.2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.283	0.177	0.329	0.367	0.334	0.220
4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.278	0.178	0.334	0.359	0.326	0.215
5	0.2	0.14	0.5	0.5	0.2	0.2	0.285	0.176	0.329	0.358	0.333	0.214
6	0.2	0.14	0.5	0.5	0.1	0.2	0.315	0.177	0.275	0.382	0.327	0.231
7	0.2	0.14	0.5	0.5	0.05	0.2	0.355	0.173	0.260	0.389	0.285	0.339
8	0.2	0.14	0.5	0.5	0.05	0.3	0.358	0.175	0.196	0.375	0.298	0.228
9	0.2	0.14	1.5	0.5	0.05	0.2	0.334	0.169	0.307	0.368	0.331	0.221

2.6 การเปรียบเทียบผลของแบบจำลอง AERMOD กับ ISCST

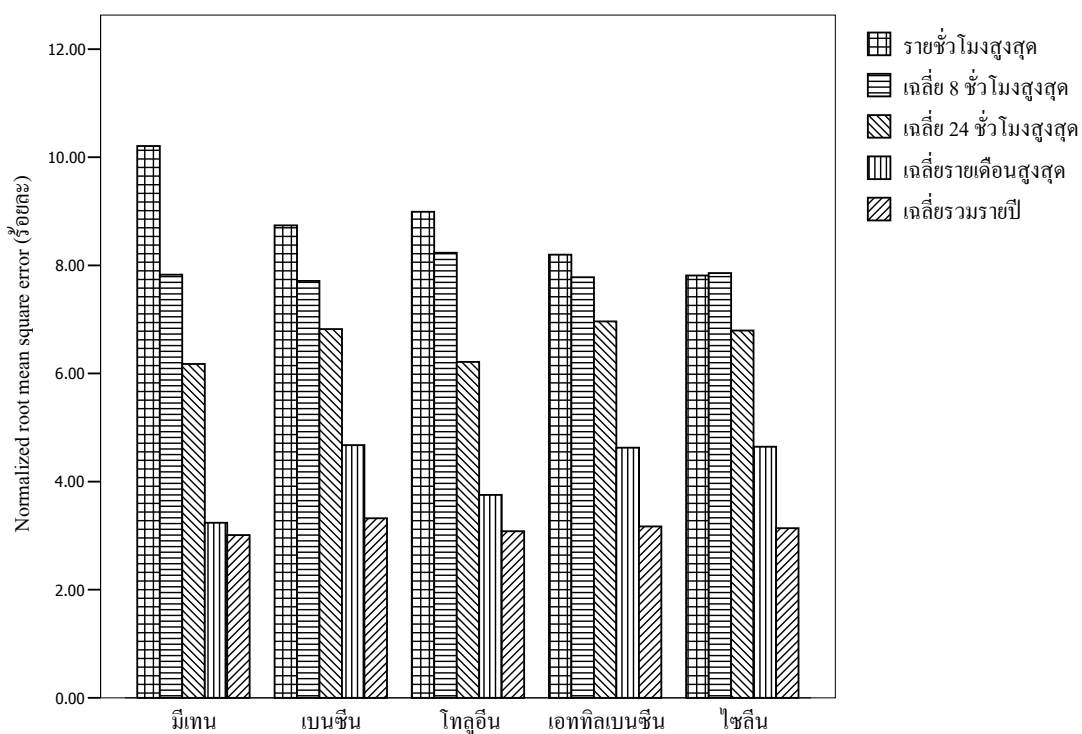
การเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากการทำนายความเข้มข้นด้วยแบบจำลอง AERMOD กับแบบจำลอง ISCST โดยใช้การทดสอบประชากรแบบจับคู่ (Paired sample t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตั้งแต่ความเข้มข้นรายชั่วโมงสูงสุด ความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด และความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี ในปี พ.ศ. 2550 พบว่าที่ทุกระยะเวลาเฉลี่ย แบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ผลการทดสอบทางสถิติในตารางผนวกที่ ข10) แสดงว่าแบบจำลองทั้งสองให้ผลที่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองใช้ค่า Normalized root mean square error (NRMSE) เพื่อทดสอบความแตกต่างของประชากรแบบจับคู่ โดยใช้แบบจำลอง AERMOD เป็นหลักเนื่องจากมีการปรับเทียบแล้วใช้แบบจำลอง ISCST มาเปรียบเทียบ จะได้ค่าร้อยละความแตกต่างของแบบจำลอง ISCST เปรียบเทียบกับ AERMOD

เมื่อพิจารณาตารางที่ 33 ความแตกต่างของแบบจำลองทั้งสองพบว่าในช่วงเวลาสูงสุดรายชั่วโมง ก๊าซมีเทนมีความแตกต่างกันร้อยละ 10.21 สำหรับเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีนมีความแตกต่างร้อยละ 8.74, 8.99, 8.20 และ 7.81 ตามลำดับ ซึ่งการทำนายความเข้มข้นสารที่ความเข้มข้นต่ำจะมีความแตกต่างกันน้อยกว่าสารที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

สำหรับช่วงเวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดพบความแตกต่างของก๊าซมีเทน เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มีความแตกต่างร้อยละ 7.83, 7.71, 8.23, 7.78 และ 7.86 ตามลำดับ ช่วงเวลาเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด มีความแตกต่างร้อยละ 6.17, 6.82, 6.21, 6.96 และ 6.80 ตามลำดับ และเมื่อช่วงระยะเวลาเฉลี่ยยาวนานขึ้นเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยรายเดือนพบว่าความแตกต่างลดลงเหลือร้อยละ 3.24, 4.67, 3.76, 4.63 และ 4.65 ตามลำดับ

สำหรับในช่วงเวลาเฉลี่ยรวมรายปีเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยที่ยาวที่สุดพบว่าก๊าซมีเทนมีค่าความแตกต่างร้อยละ 3.01 เบนซีนร้อยละ 3.32 โทลูอินร้อยละ 3.08 เอทิลเบนซีนร้อยละ 3.17 และไซลีน ร้อยละ 3.14 ซึ่งจากความแตกต่างที่ได้จะพบว่า ความแตกต่างของแบบจำลองทั้งสองมีค่าต่างกันมากกว่าในช่วงเวลาเฉลี่ยที่สั้นกว่า เมื่อช่วงเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นความแตกต่างมีค่าลดลงจากความแตกต่างประมาณร้อยละ 10 ที่ระยะเวลารายชั่วโมง ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 8 ที่ช่วงเวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด แล้วลดลงเหลือร้อยละ 6 ที่ช่วงเวลาเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สำหรับระยะเวลาเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 4 จนเหลือประมาณร้อยละ 3 เมื่อระยะเวลาเฉลี่ยเป็นรายปี นอกจากนี้ยังพบด้วยว่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ สำหรับมลพิษที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าพบว่าแบบจำลองทั้งสองให้ค่าการทำนายที่มีความแตกต่างกันน้อยกว่ามลพิษที่มีความเข้มข้นสูง



ภาพที่ 36 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละ Normalized root mean square error ของแบบจำลอง ISCST เปรียบเทียบโดยใช้แบบจำลอง AERMOD เป็นตัวเปรียบเทียบ

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในปี พ.ศ. 2550

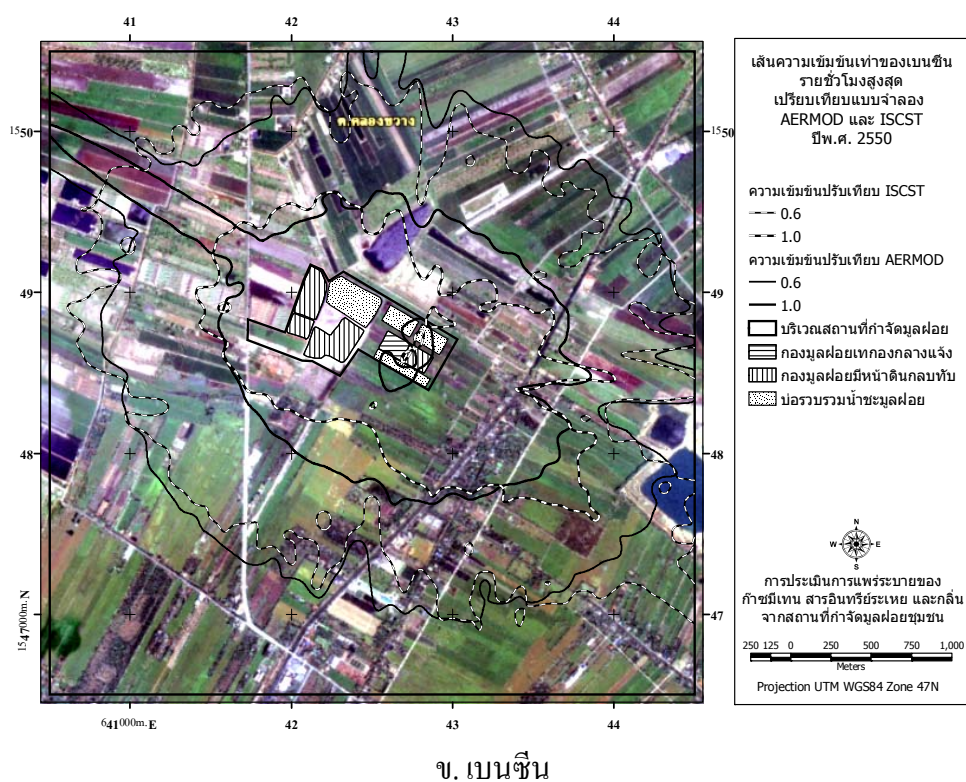
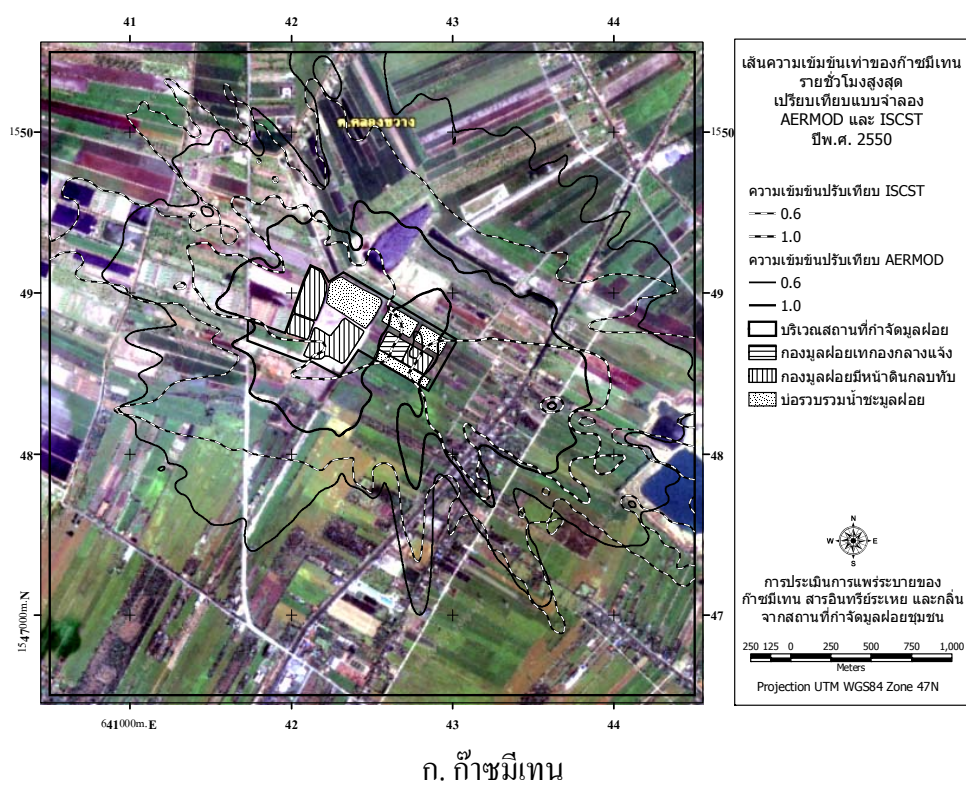
ก๊าซ	ช่วงเวลาเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยแบบจำลอง AERMOD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ยแบบจำลอง ISCST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	อัตราส่วน AERMOD/ ISCST	NRMSE (ร้อยละ)
มีเทน	1 hr	4471.0157	3618.1549	1.28	10.21
	8 hr	1245.2547	891.3414	1.45	7.83
	24 hr	503.2080	366.9760	1.44	6.17
	รายเดือน	75.7693	55.0447	1.50	3.24
	รายปี	22.8077	16.6459	1.49	3.01
เบนซีน	1 hr	4.5349	4.0616	1.13	8.74
	8 hr	1.3735	1.0146	1.37	7.71
	24 hr	0.5266	0.3920	1.38	6.82
	รายเดือน	0.1077	0.0783	1.48	4.67
	รายปี	0.0371	0.0270	1.50	3.32
โทลูอิน	1 hr	7.1210	6.0552	1.20	8.99
	8 hr	2.1706	1.5966	1.38	8.23
	24 hr	0.8614	0.6386	1.39	6.21
	รายเดือน	0.1483	0.1073	1.49	3.76
	รายปี	0.0526	0.0379	1.52	3.08
เอทิล เบนซีน	1 hr	2.9151	2.6724	1.10	8.20
	8 hr	0.9236	0.6878	1.37	7.78
	24 hr	0.3573	0.2673	1.37	6.96
	รายเดือน	0.0681	0.0494	1.49	4.63
	รายปี	0.0235	0.0169	1.52	3.17
ไซลีน	1 hr	4.6440	4.2570	1.10	7.81
	8 hr	1.4739	1.0981	1.37	7.86
	24 hr	0.5732	0.4284	1.37	6.80
	รายเดือน	0.1076	0.0778	1.49	4.65
	รายปี	0.0369	0.0266	1.52	3.14

สำหรับค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นจากการทำนายด้วยแบบจำลอง AERMOD กับแบบจำลอง ISCST ทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนแบบจับคู่ประชากรแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าการทำนายสูงกว่าแบบจำลอง ISCST โดยที่เวลารายชั่วโมงสูงสุดพบว่าค่าอัตราส่วนของก๊าซมีเทน, เบนซีน, โทลูอิน, เอททิลเบนซีน และ ไซลีน มีค่า 1.28, 1.13, 1.20, 1.10 และ 1.10 ตามลำดับ

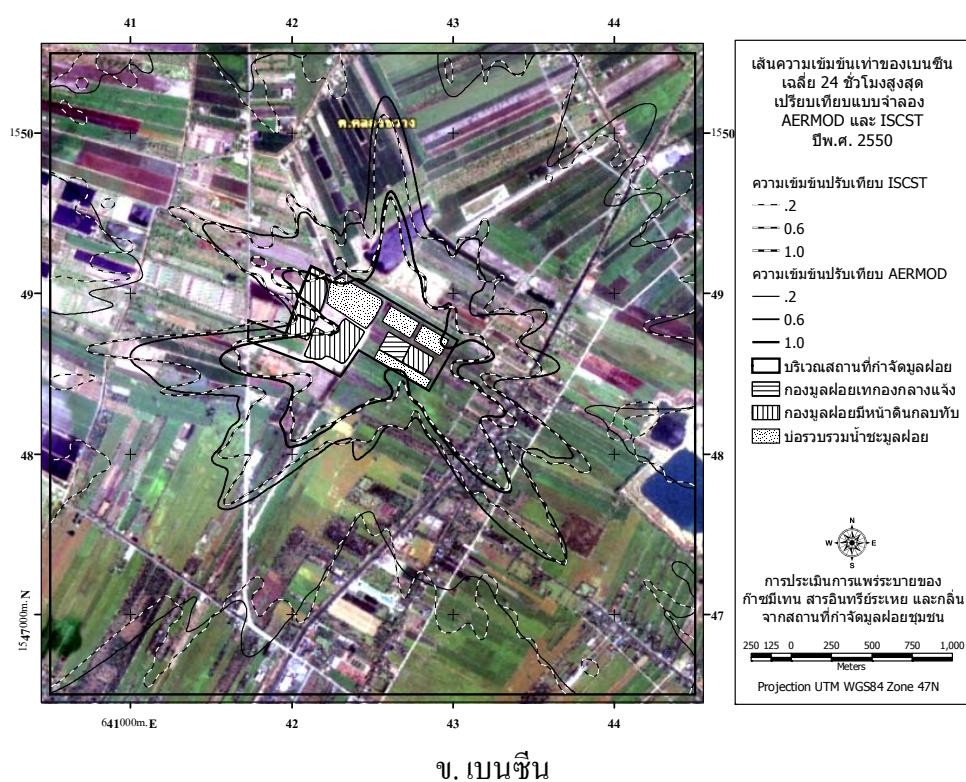
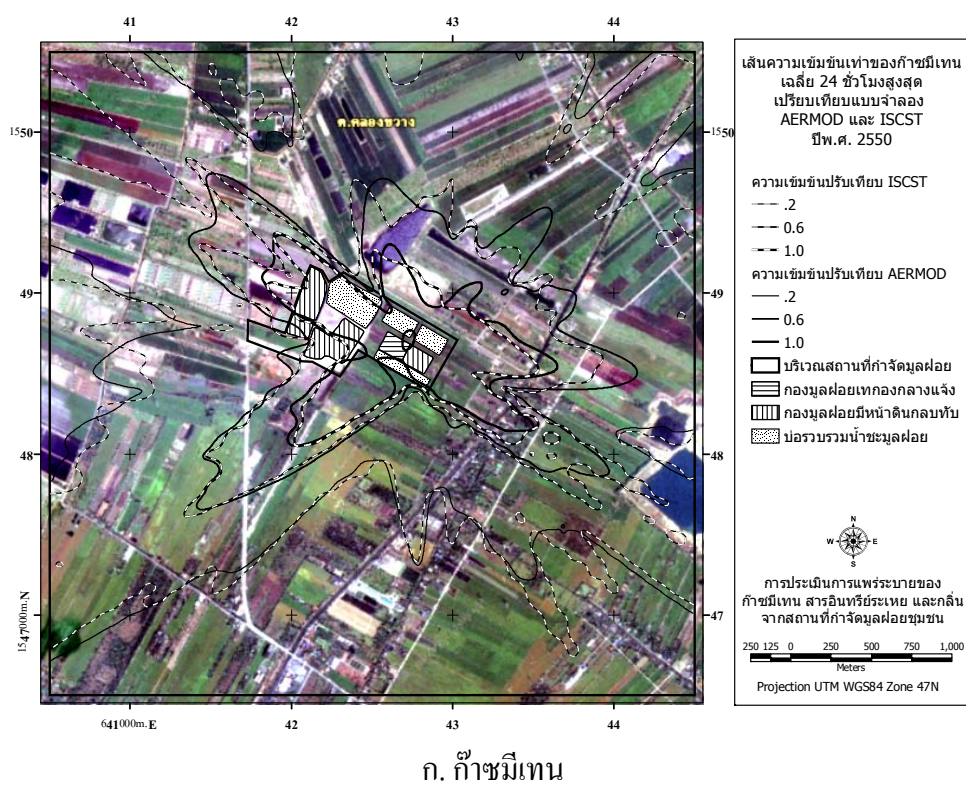
สำหรับในช่วงเวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดและ 24 ชั่วโมงสูงสุด ค่าอัตราส่วนของก๊าซมีเทน, เบนซีน, โทลูอิน, เอททิลเบนซีน และ ไซลีน จะมีค่า 1.45, 1.37, 1.38, 1.37, 1.37 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด และสำหรับค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด ค่าอัตราส่วนของก๊าซมีเทน, เบนซีน, โทลูอิน, เอททิลเบนซีน และ ไซลีน จะมีค่า 1.44, 1.38, 1.39, 1.37, 1.37 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดและเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด อัตราส่วนระหว่างผลจากแบบจำลองมีค่าไม่ต่างกันโดยมีค่าคงที่ประมาณ 1.40 โดยสารที่ความเข้มข้นมากกว่ามีอัตราส่วนสูงกว่าที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าเล็กน้อย

เมื่อช่วงเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรวมรายปี ค่าอัตราส่วนของก๊าซมีเทน, เบนซีน, โทลูอิน, เอททิลเบนซีน และ ไซลีน จะมีค่า 1.50, 1.48, 1.49, 1.49 และ 1.49 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรวมรายปีจะพบว่าค่าอัตราส่วนที่ 1.49, 1.50, 1.52, 1.52 และ 1.52 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงเวลาเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรวมรายปีมีค่าอัตราส่วนที่ไม่แตกต่างกันทั้งความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นต่ำโดยมีอัตราส่วนคงที่ที่ค่าประมาณ 1.50

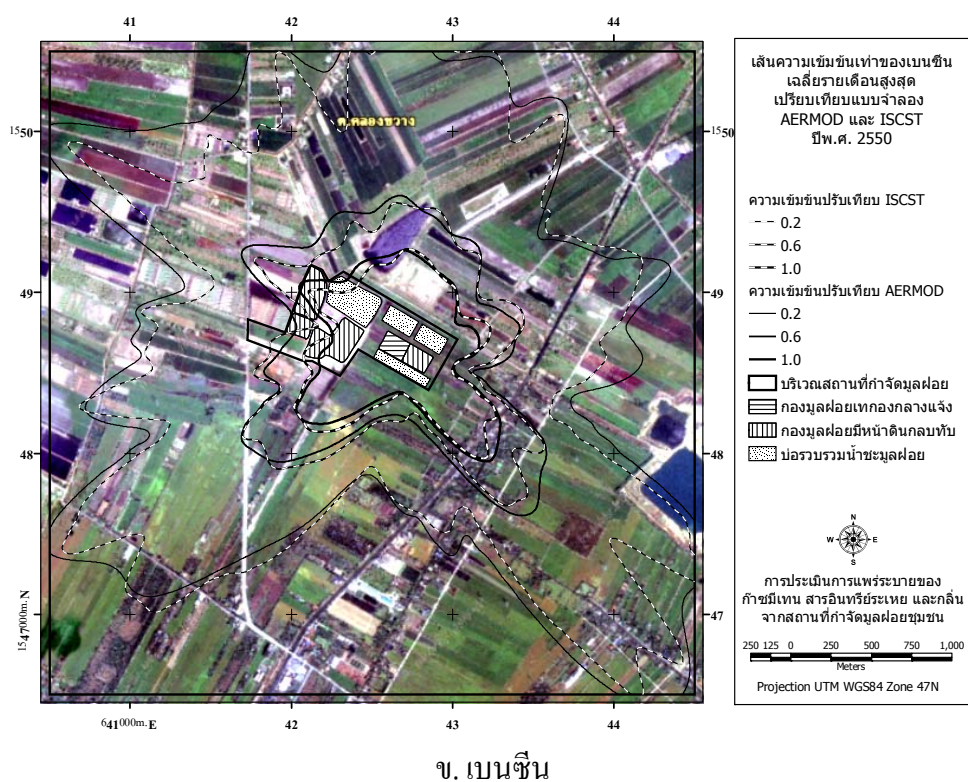
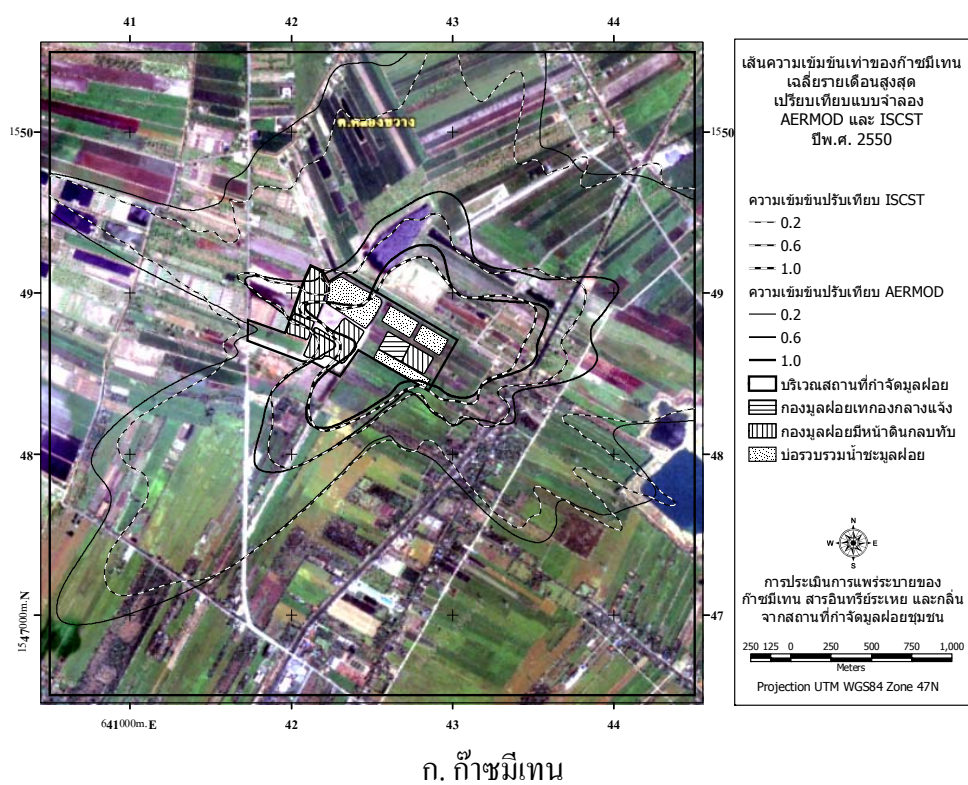
อัตราส่วนค่าทำนายความเข้มข้นระหว่างแบบจำลองทั้งสองแสดงให้เห็นว่าแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มจากความแตกต่างของอัตราส่วน ช่วงเวลาแรกคือค่าสูงสุดรายชั่วโมง ช่วงที่สองคือค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดและเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดซึ่งมีอัตราส่วนไม่แตกต่างกัน และในช่วงเวลาที่สาม คือช่วงเวลาเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรวมรายปีมีอัตราส่วนไม่แตกต่างกัน ซึ่งผลเป็นไปเช่นเดียวกับ Brode (2006) ซึ่งระบุว่าแบบจำลอง ISCST จะให้ค่าการทำนายที่ต่ำกว่าเมื่อช่วงระยะเวลาเฉลี่ยยาวมากขึ้น



ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านตำแหน่งของมลพิษที่ตกลงสู่พื้นที่จากแบบจำลอง
AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่ารายชั่วโมงสูงสุด



ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านตำแหน่งของมลพิษที่ตกลงสู่พื้นที่จากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด



ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านตำแหน่งของมลพิษที่ตกลงสู่พื้นที่จากแบบจำลอง
AERMOD และ ISCST โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด

3. การประเมินความเสี่ยงของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ต่อสุขภาพอนามัย

การประเมินความเสี่ยงจากการทำงานโดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการทำงานจาก ACGIH, NIOSH และ OSHA โดยใช้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดจากแบบจำลอง ซึ่งเป็นเวลาในการทำงานปกติโดยทั่วไป ซึ่งค่ามาตรฐานในการทำงานนี้กำหนดให้ใช้กับมาตรฐานในการทำงานของคนวัยทำงานในสถานประกอบการเท่านั้น ห้ามนำไปใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เมื่อพิจารณาค่าในตารางที่ 34 ซึ่งเป็นสภาพภายในสถานที่กำจัดมูลฝอยพบว่าค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสภาพแวดล้อมในการทำงานของทั้ง ACGIH, NIOSH และ OSHA

ตารางที่ 34 ระดับความเสี่ยงจากการทำงานเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานด้านสภาพความปลอดภัยจากสารเคมีในบรรยากาศในสถานที่ทำงาน

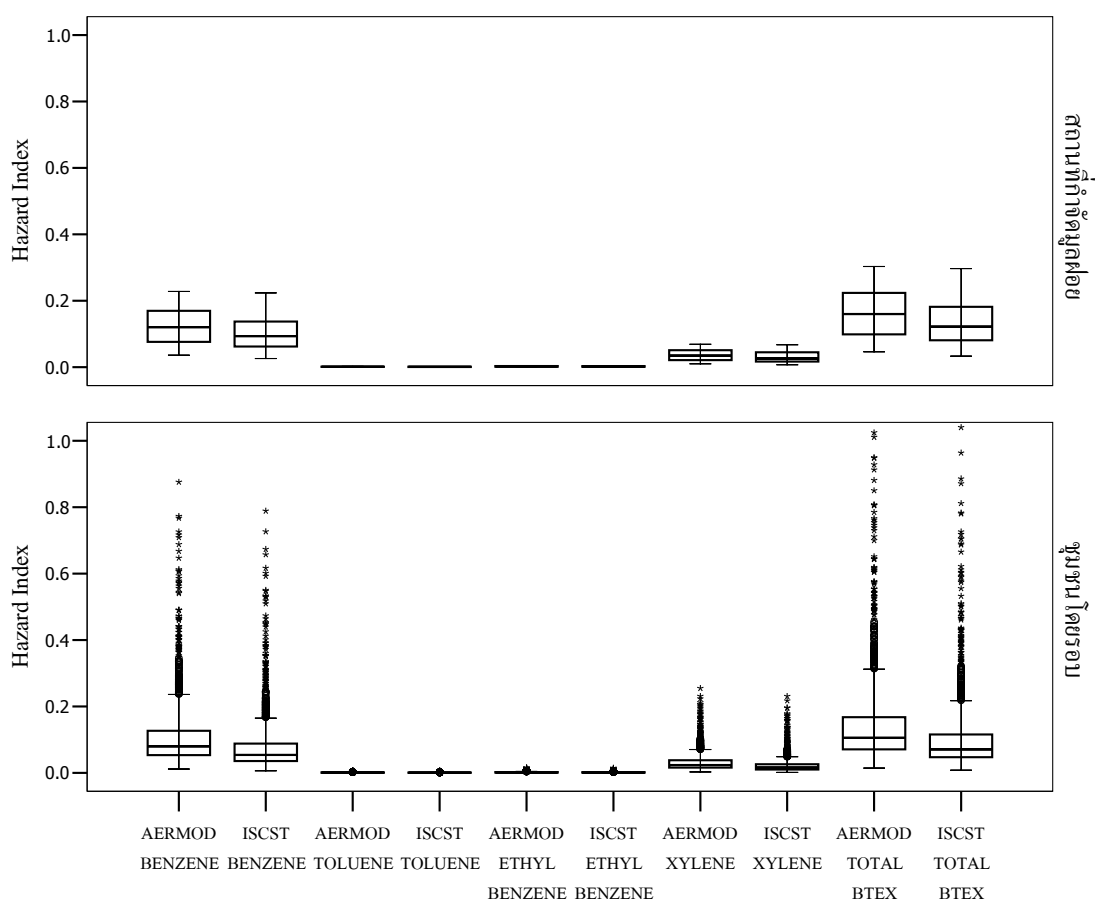
ชนิดสาร	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง TWA (mg/m ³)				
	ACGIH TLV	NIOSH REL	OSHA PEL	แบบจำลอง AERMOD	แบบจำลอง ISCST
เบนซีน	1.51	0.32	3.2	6.79×10^{-3}	6.98×10^{-3}
โทลูอิน	188	375	750	9.17×10^{-3}	9.01×10^{-3}
เอทิลเบนซีน	435	435	435	4.36×10^{-3}	4.47×10^{-3}
ไซลีน	435	435	435	6.87×10^{-3}	7.03×10^{-3}

การประเมินความเสี่ยงแบบ Noncarcinogenic effect ของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยแสดงเป็นค่าดัชนีความเสี่ยงอันตราย (Hazard Index) แยกสารแต่ละชนิดคือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน และแบบความเสี่ยงรวมทั้งกลุ่ม BTEX โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด เพื่อประเมินในกรณีฤดูกาลที่รุนแรงที่สุดโดยใช้ความเข้มข้นนี้ตลอดระยะเวลาที่ประเมิน ทั้งจำแนกเป็นกรณีผู้ทำงานในสถานที่กำจัดมูลฝอยและชุมชนโดยรอบ

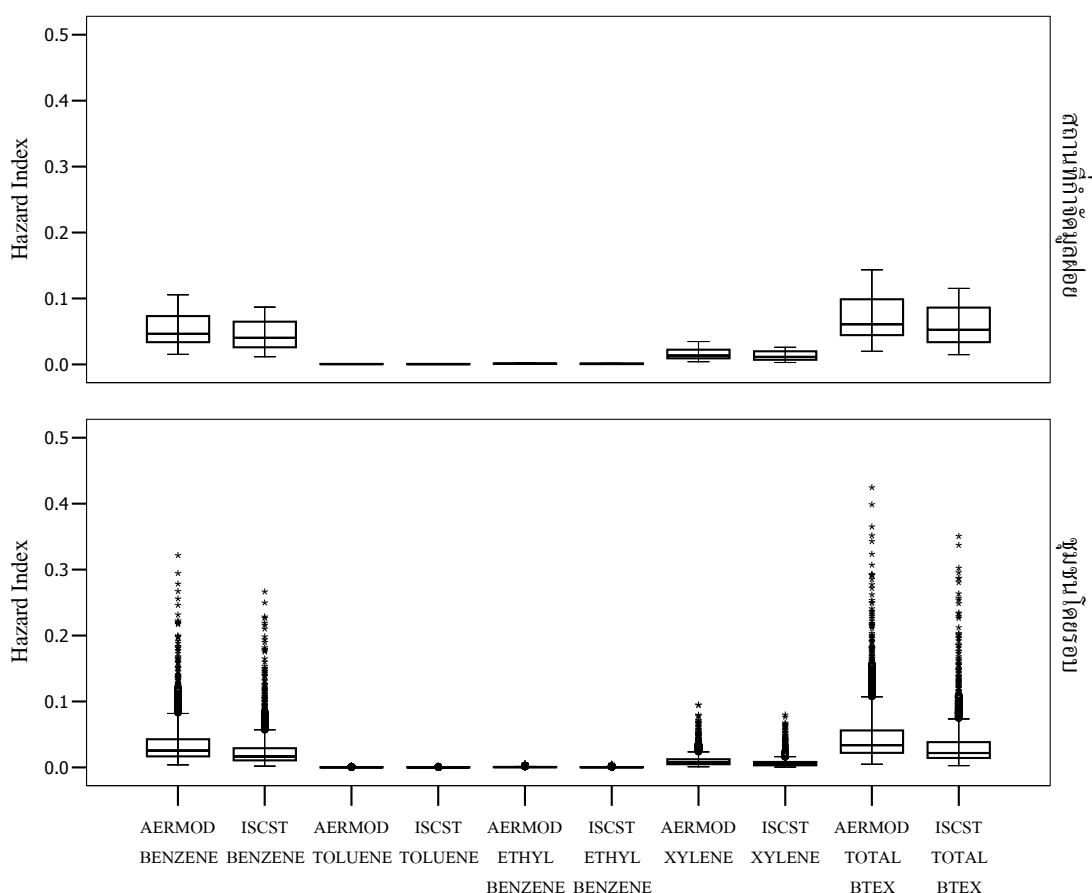
ภายในสถานที่กำจัดมูลฝอยพบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดสูงกว่าชุมชนโดยรอบ แม้ว่าจะมีระยะเวลาสัมผัสต่ำกว่าผู้อยู่อาศัยโดยรอบ เนื่องจากคิดจากระยะเวลาในการทำงาน จึงมีค่าของดัชนีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพอนามัยจากสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX รวมมีค่าระหว่าง 0.05-0.3ใกล้เคียงกันทั้งแบบจำลอง AERMOD และ ISCST แต่แบบจำลอง AERMOD มี

ค่ามัธยฐานประมาณ 0.15 ซึ่งสูงกว่าแบบจำลอง ISCST ที่มีค่ามัธยฐานประมาณ 0.1 ซึ่งผลจากแบบจำลองทั้งสองพบว่าค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤตซึ่งเท่ากับ 1 แสดงว่าผู้ที่ทำงานภายในสถานที่กำจัดมูลฝอยยังไม่เป็นอันตรายจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

การประเมินความเสี่ยงของชุมชนโดยรอบ (ภาพที่ 40) พบว่ามีระดับความเสี่ยงจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยค่าปกติส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 0.01-0.30 และมีค่ามัธยฐานประมาณ 0.1 จะมีบางพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับความเสี่ยงสูงอยู่ระหว่าง 0.30-0.80 ซึ่งสูงกว่าพื้นที่โดยทั่วไปเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มลพิษตก ซึ่งเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมถึงตำแหน่งดังกล่าวจากภาพที่ 42 พบว่าเป็นตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ทุ่งนาทางด้านตะวันออกและด้านใต้ไม่ใช้บริเวณพื้นที่เมืองหรือชุมชนที่อยู่อาศัย

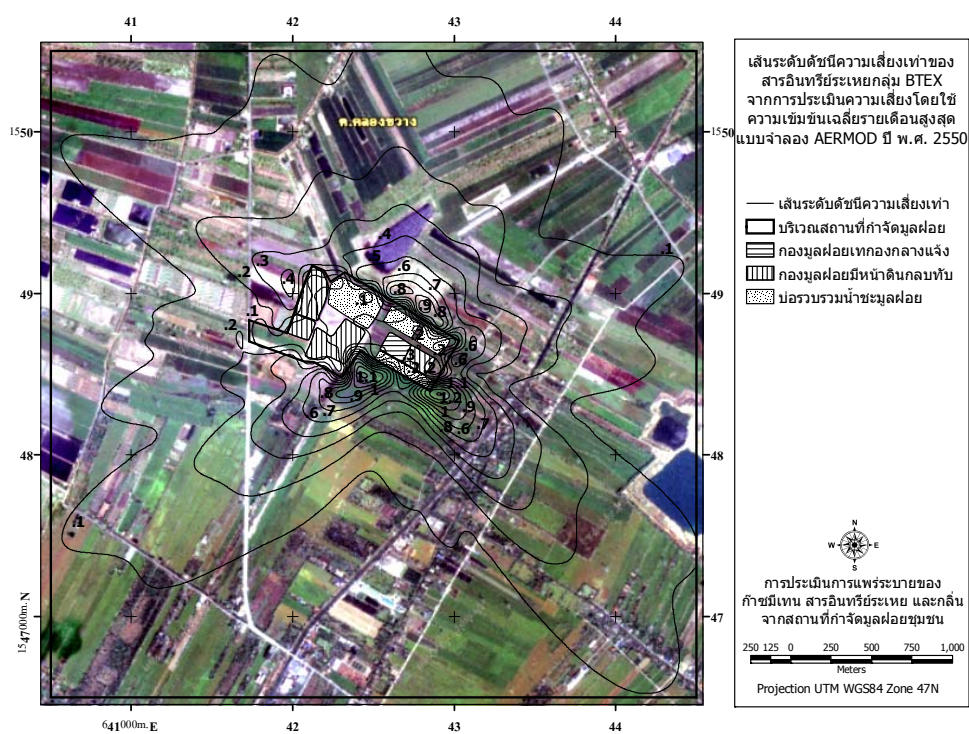


ภาพที่ 40 ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายรวมจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กรณีใช้การประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด

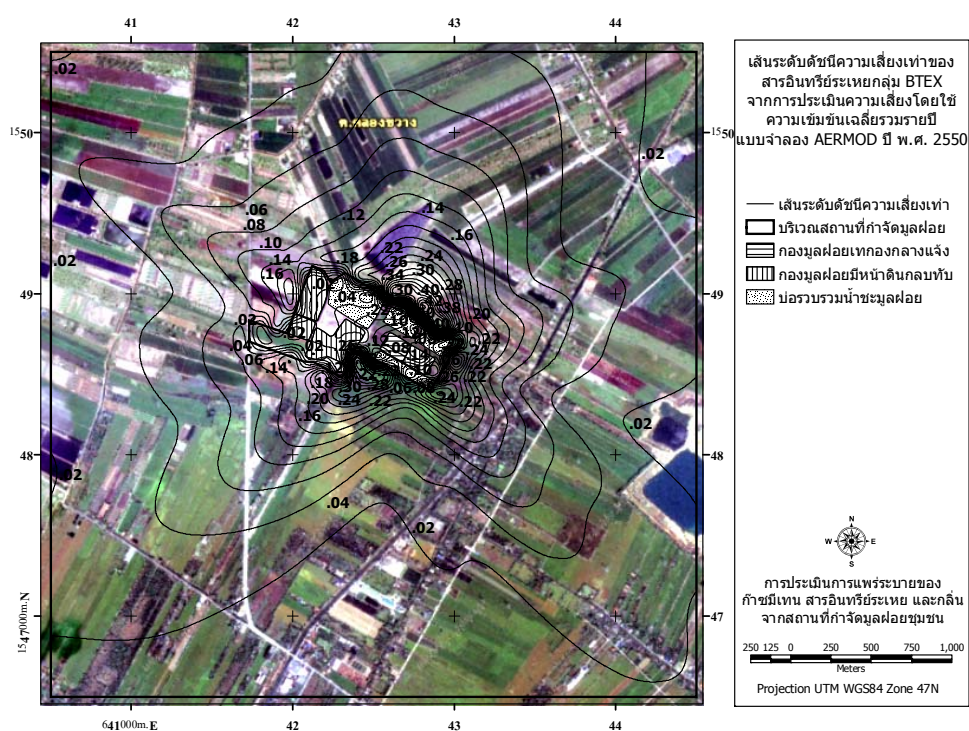


ภาพที่ 41 ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตรายรวมจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กรณีใช้การประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี

กรณีใช้การประเมินความเสี่ยงอันตรายจากค่าเฉลี่ยรวมรายปีซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทั้งความเข้มข้นและช่วงเวลาที่ได้รับสาร พบว่าค่าดัชนีความเสี่ยงรวมจากสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ต่อผู้ทำงานในสถานที่กำจัดมูลฝอยมีค่าระหว่าง 0.02-0.15 มีค่ามัธยฐานประมาณ 0.06 และค่าดัชนีความเสี่ยงต่อชุมชนโดยรอบ ซึ่งปกติอยู่ในช่วง 0.01-0.1 และพบว่ามีบางพื้นที่มีค่าสูง 0.1-0.4 เนื่องจากมีค่าดัชนีความเสี่ยงจากเบนซินสูงตั้งแต่ 0.08-0.3 สำหรับบริเวณที่มีดัชนีความเสี่ยงอันตรายสูงเมื่อพิจารณาจากแผนที่ในภาพที่ 42 พบบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงเป็นบริเวณนาข้าวในตำแหน่งเดียวกับกรณีวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดเป็นการยืนยันถึงตำแหน่งที่มีระดับความเสี่ยงสูง แต่เนื่องจากตำแหน่งเหล่านี้ไม่ตรงกับที่ตั้งชุมชน เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมถึงชุมชนที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจะพบว่าชุมชนบ้านคลองห้าร้อยบริเวณทิศตะวันออก และหมู่บ้านไทรน้อยทางด้านทิศใต้ที่มีระดับความเสี่ยงอันตรายสูงกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่นนอกเหนือจากในพื้นที่กำจัดมูลฝอยและนาข้าวดังกล่าวข้างต้น



ก. ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด



ข. ดัชนีความเสี่ยงอันตรายจากค่าเฉลี่ยรวมรายปี

ภาพที่ 42 แผนที่เส้นระดับดัชนีความเสี่ยงเท่าของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กรณีประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและเฉลี่ยรวมรายปีจากแบบจำลอง AERMOD

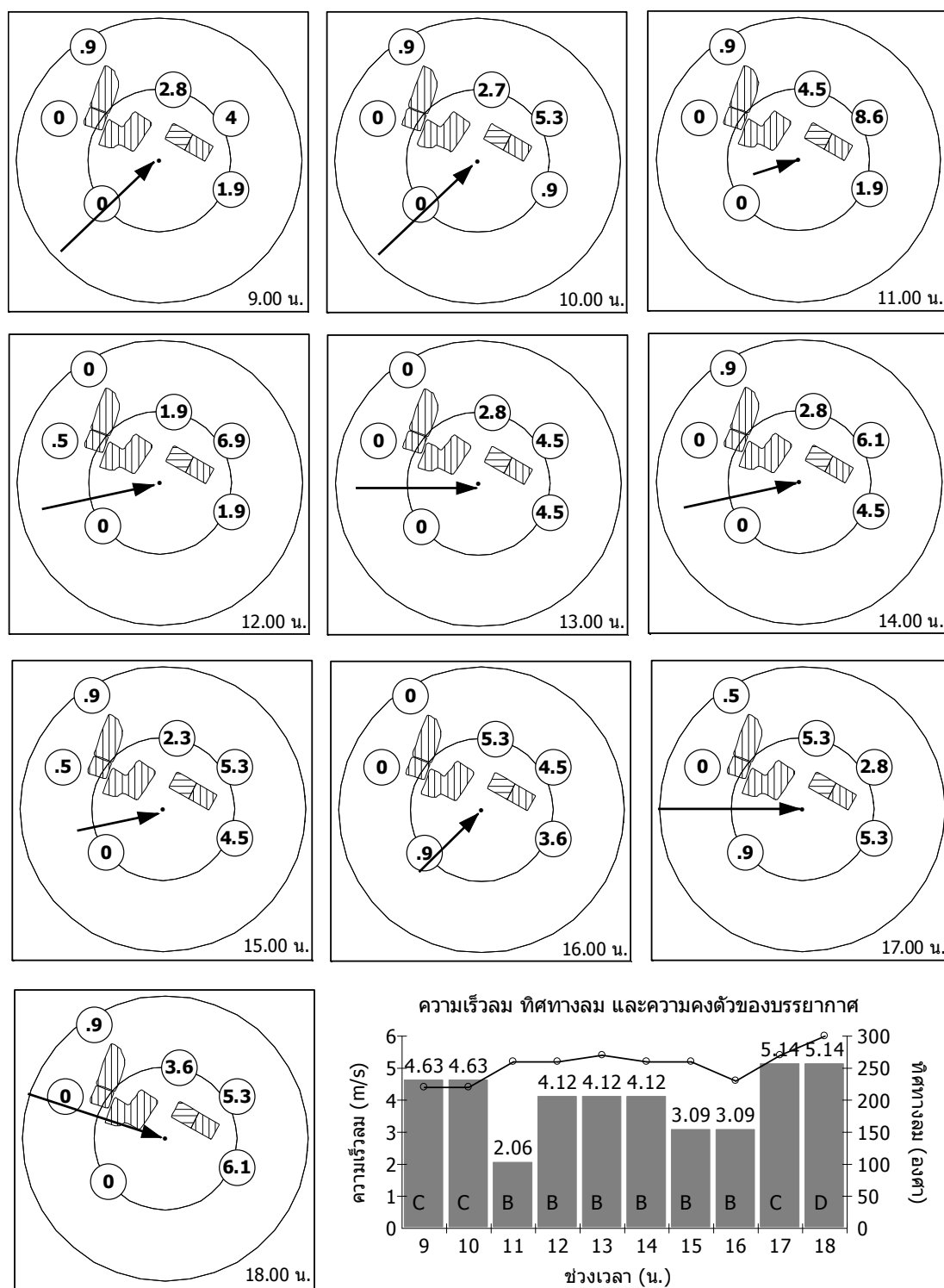
กรณีพิจารณาความเข้มข้นวิกฤตจากกรณีนี้โดยให้ค่าดัชนีความเสี่ยงอันตราย (HI) เท่ากับ 1 พบว่าความเข้มข้นวิกฤตของเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มีค่าเท่ากับ 0.87, 141.94, 29.40 และ $2.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าสูงกว่า ค่าสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4028, 0.6473, 0.2800 และ $0.4438 \mu\text{g}/\text{m}^3$

การประเมินความเสี่ยงแบบ Carcinogenic effect พบว่าในสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX มีเบนซีนเพียงชนิดเดียวที่ได้รับการจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในระดับ A ถือเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ซึ่งค่า Unit risk จากการได้รับโดยการหายใจ ซึ่งหมายถึงโอกาสที่ประชากร 1 ล้านคนจะเกิดมะเร็งที่อวัยวะเป้าหมาย ซึ่งสำหรับเบนซีนคือมะเร็งเม็ดเลือดขาว มีค่า 2.2×10^{-6} ต่อความเข้มข้น $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งจากการพิจารณาความเข้มข้นจากแบบจำลองโดยค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดเฉลี่ยทั้งพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ย $1.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จะมีความเสี่ยง 3.54×10^{-6} จำนวนประชากรในตำบลคลองขวางตามฐานข้อมูลจังหวัดนนทบุรีปี พ.ศ. 2550 มี 4,720 คน โอกาสที่จะเกิดโรคมะเร็งจากกรณีนี้เท่ากับ 0.017 คน จากจำนวนประชากรทั้งหมด

4. การแพร่กระจายของกลิ่น

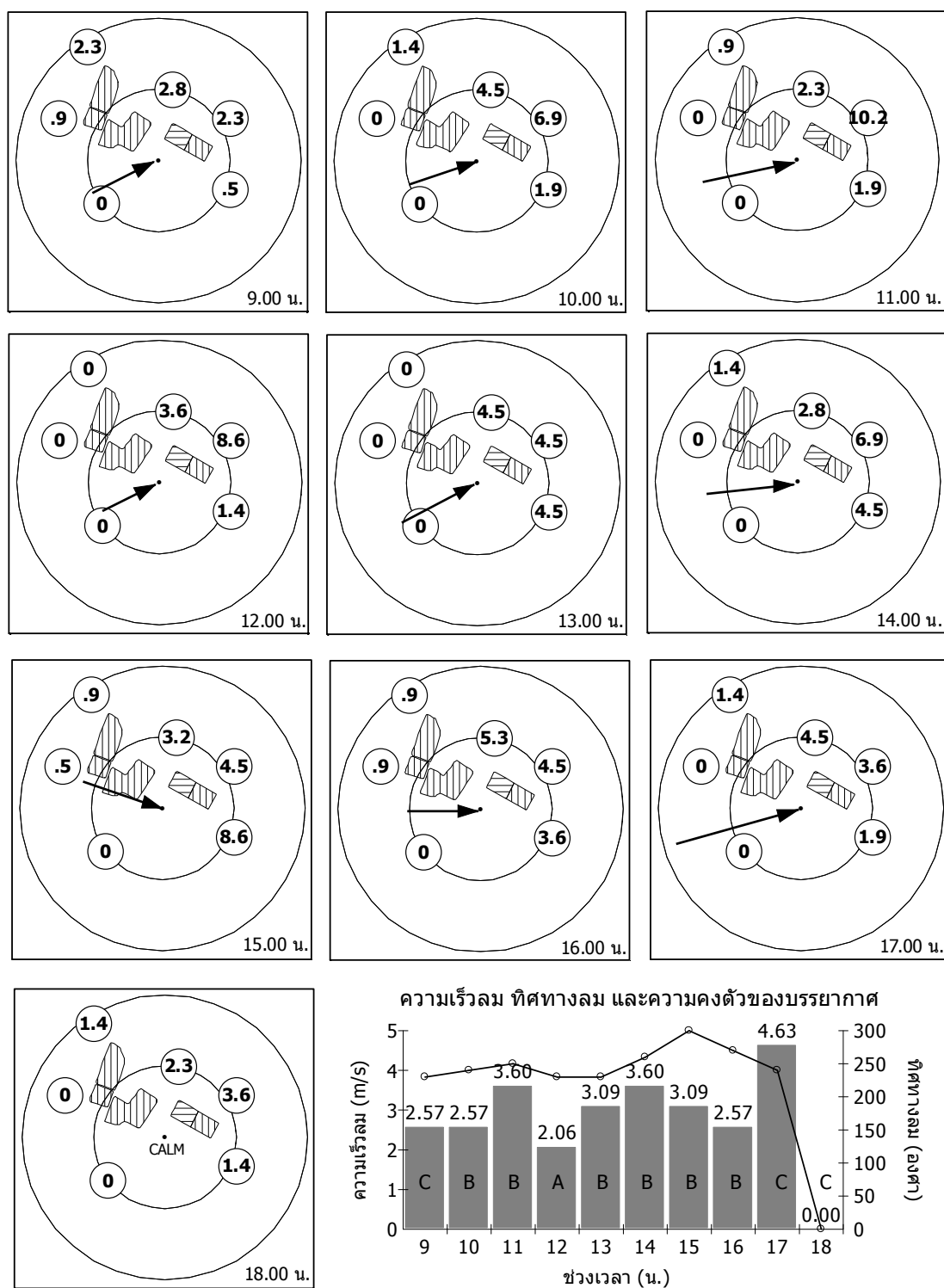
4.1 การตรวจวัดระดับกลิ่น

การตรวจวัดระดับกลิ่นโดยใช้เครื่องวัดกลิ่นภาคสนามตรวจวัดในปี พ.ศ. 2548-2550 โดยในปี พ.ศ. 2548 เป็นการเริ่มตรวจวัดครั้งแรกโดยมีกองมูลฝอยเทศบาลเมืองทุ่งกระเจ็ด และตรวจวัดโดยใช้ผู้ตรวจวัดเพียงคนเดียว ต่อมาในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งอยู่ในระหว่างการปรับปรุงกองมูลฝอย ทำการตรวจวัดโดยใช้ผู้ตรวจวัดจำนวน 2 คน จนมาในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งกองมูลฝอยกองเดิมมีหน้าดินกลบทับและมีกองมูลฝอยเทศบาลเมืองทุ่งกระเจ็ดและกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับกองใหม่เกิดขึ้น ได้ทำการตรวจวัดโดยเพิ่มจำนวนผู้ตรวจวัดเป็น 3 คน และมีการแบ่งช่วงเวลาการตรวจวัดในฤดูแล้งกับฤดูฝน พบว่าในช่วงเวลาใกล้เคียงกันของแต่ละปีจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งอยู่บริเวณทางทิศเหนือของกองมูลฝอยเป็นบริเวณที่ได้รับกลิ่นมากกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่น ซึ่งทิศทางและความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดระดับกลิ่นและบริเวณพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบจากกลิ่น ค่าระดับกลิ่นจากค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยแสดงในตารางผนวกที่ ข12 ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดเมื่อนำมาแสดงค่าและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างโดยแยกเป็นช่วงเวลา ประกอบกับทิศทางลม ความเร็วลมและความคงตัวของบรรยากาศแบบ Pasquill-Gifford ของการเก็บตัวอย่างในปี พ.ศ. 2550 ในฤดูแล้งและฤดูฝนแสดงในภาพที่ 43 และภาพที่ 44 ตามลำดับ



ภาพที่ 43 ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยของกลิ่นที่จุดตรวจวัดรายชั่วโมงในฤดูแล้งปี พ.ศ. 2550

หมายเหตุ เก็บข้อมูลวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2550



ภาพที่ 44 ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยของกลิ่นที่จุดตรวจวัดรายชั่วโมงในฤดูฝนปี พ.ศ. 2550

หมายเหตุ เก็บข้อมูลวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2550

4.2 การแพร่กระจายของกลิ่นจากแบบจำลอง

การใช้แบบจำลองเพื่อทำนายการแพร่กระจายของกลิ่นโดยใช้แบบจำลอง AERMOD และ ISCST เพื่อประเมินระดับการแพร่กระจายของกลิ่นโดยใช้แบบจำลองร่วมกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริง ใช้ข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทำนายการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยการนำเข้าข้อมูลการแพร่กระจายจากกองมูลฝอยทั้งกองมูลฝอยเทศบาลกลางแจ้งและกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ

สำหรับค่านำเข้าเป็นค่าเฉลี่ยกลิ่นที่บริเวณกองมูลฝอย ซึ่งมีค่าจากการตรวจวัดโดยการสุ่มสำหรับกองมูลฝอยเทศบาลกลางใช้ค่า D/T_{Geo} เท่ากับ 42.4 และสำหรับกองมูลฝอยเมื่อมีหน้าดินกลบทับแล้วใช้ค่า D/T_{Geo} เท่ากับ 1.4 ซึ่งค่าที่จะนำเข้าสู่แบบจำลองปรับแก้โดยการแปลงเป็นค่า Odour index ด้วยการแปลงเป็นค่า $\log_{10}OU$ (Schultz, 2002) หรือในที่นี้คือ $\log_{10}(D/T)$ เพื่อนำข้อมูลเข้าแบบจำลองเป็นหน่วย OU/m^2-s ซึ่งจะได้ค่านำเข้า 1.6274 OU/m^2-s สำหรับกองมูลฝอยเทศบาลกลางแจ้ง และ 0.1461 OU/m^2-s สำหรับกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST กับผลการตรวจวัดจริงพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลอง AERMOD มีค่าอยู่ระหว่าง 0.495 ถึง 0.577 ในขณะที่แบบจำลอง ISCST มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.421 ถึง 0.528 จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัดจริงได้ผลดังในตารางที่ 35 สำหรับแผนภาพแสดงการกระจายของข้อมูลที่น่ามาใช้วิเคราะห์แสดงในภาพผนวกที่ ข1 สำหรับปี พ.ศ. 2548 มีตัวอย่างข้อมูล 60 ตัวอย่าง ในปี พ.ศ. 2549 มีตัวอย่างข้อมูล 60 ตัวอย่างเช่นกัน ส่วนในปี พ.ศ. 2550 จะมีจำนวนตัวอย่าง 120 ตัวอย่าง เนื่องจากมีการเก็บตัวอย่างในฤดูแล้งและในฤดูฝน

ค่าที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำมาปรับค่าจากความสัมพันธ์ในสมการถดถอยอย่างง่ายเพื่อให้เป็นค่าอัตราส่วนการเจือจาง โดยจะพิจารณาที่ค่าอัตราส่วนการเจือจางเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด เพื่อแสดงระดับกลิ่นเฉลี่ยใน 1 วัน ของวันที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากกลิ่นมากที่สุด

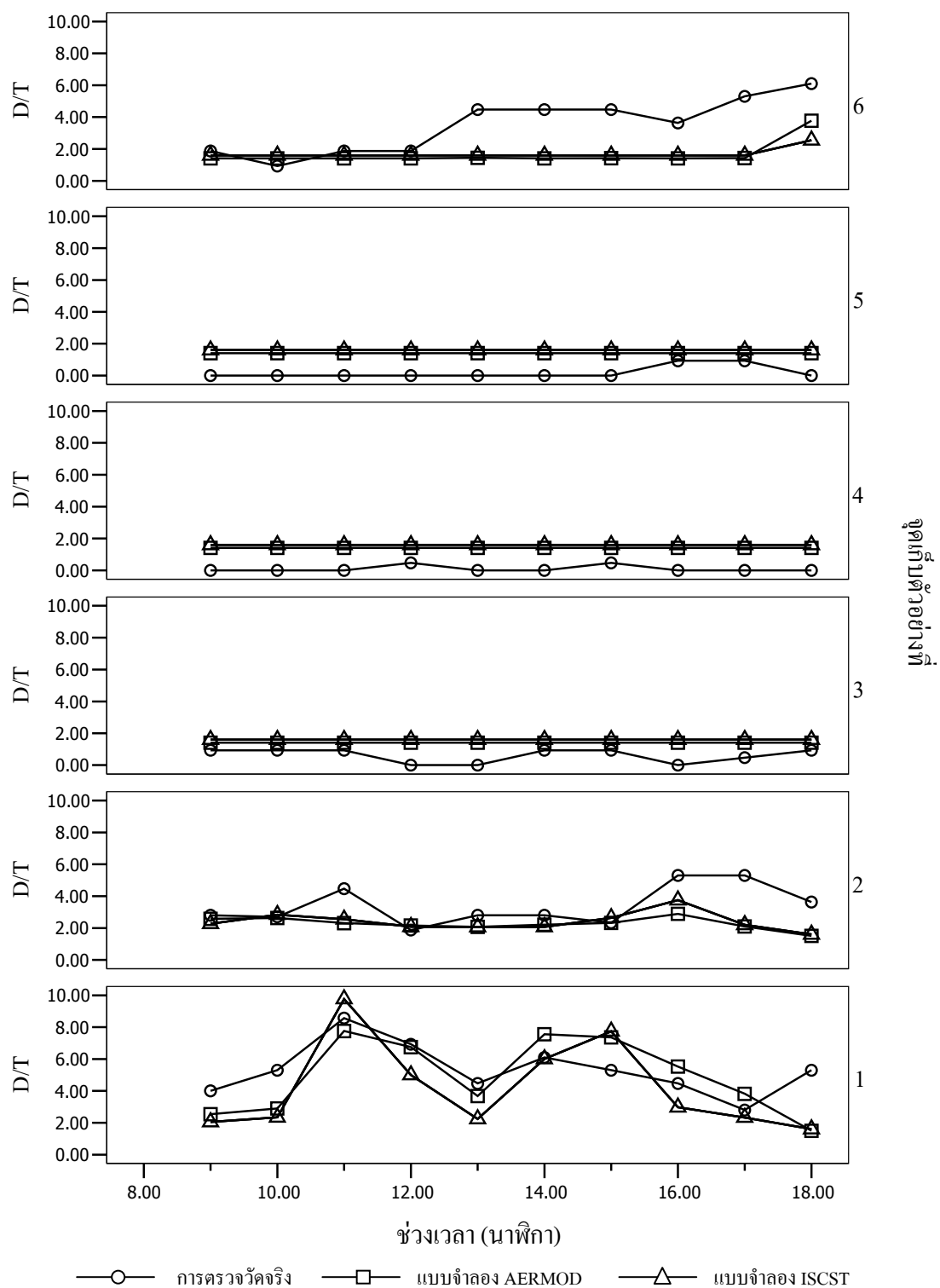
ตารางที่ 35 สมการถดถอยอย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST กับการตรวจวัดกลิ่นจริง

วันที่	AERMOD		ISCST	
	สมการถดถอยอย่างง่าย	R ²	สมการถดถอยอย่างง่าย	R ²
20 ส.ค. 2548	10.161(x)+1.484	0.577	8.821(x)+1.831	0.422
16 มิ.ย. 2549	16.695(x)+1.253	0.574	13.713(x)+1.428	0.528
10 มิ.ย. 2550	13.721(x)+1.412	0.495	12.614(x)+1.599	0.421
29 ก.ค. 2550	14.105(x)+1.325	0.567	13.465(x)+1.568	0.425
รวมปี พ.ศ. 2550	13.927(x)+1.368	0.534	13.049(x)+1.584	0.423

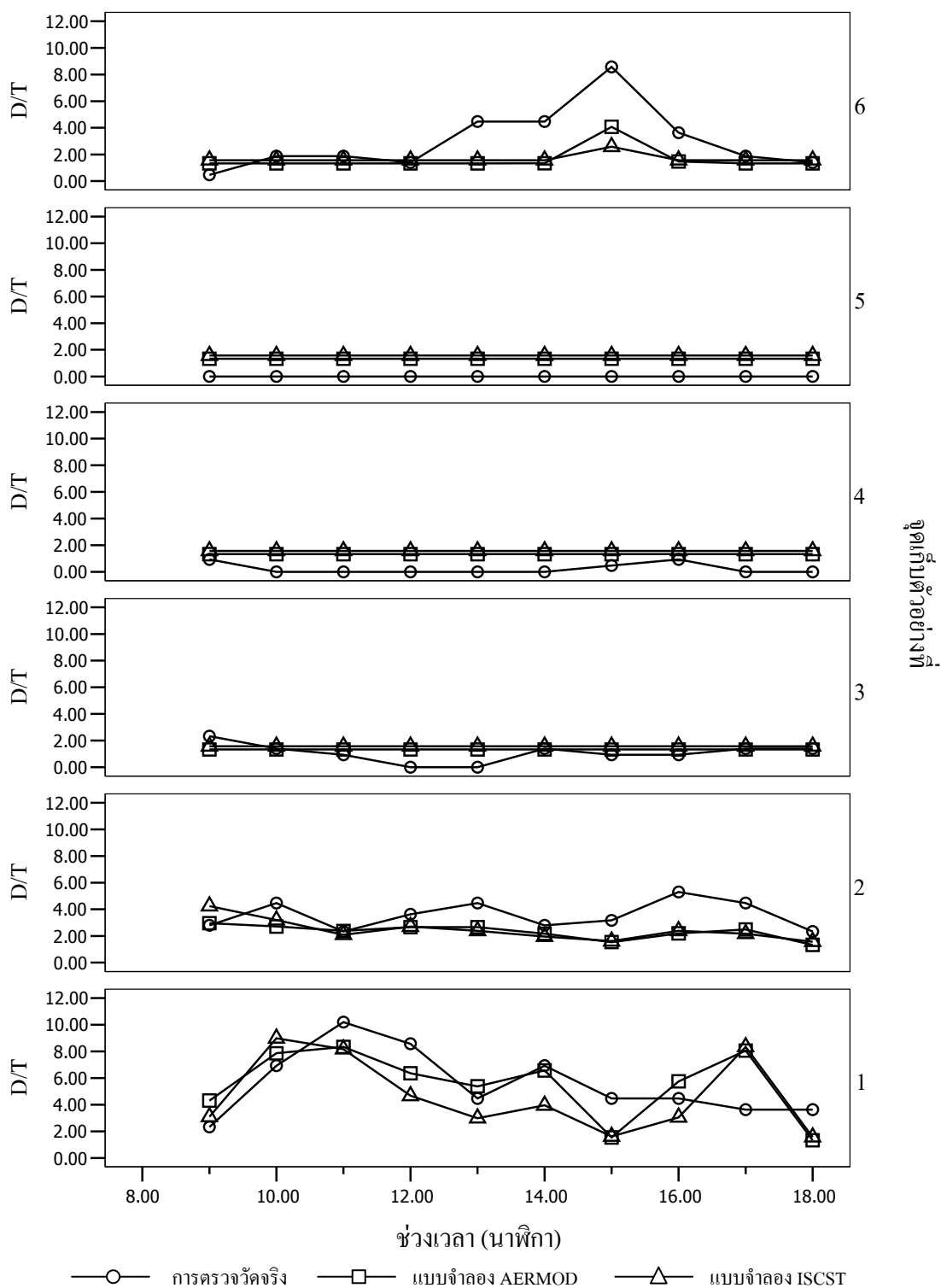
สมการถดถอยอย่างง่ายและค่าจากแบบจำลองเมื่อทำการปรับแก้ค่าจากแบบจำลองตามสมการถดถอยแล้วนำมาแสดงผลร่วมกันระหว่างค่าจากการตรวจวัดจริง ค่าจากแบบจำลอง AERMOD และค่าจากแบบจำลอง ISCST ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาในปี พ.ศ. 2550 แสดงในภาพที่ 45 และ ภาพที่ 46 จะพบว่าค่าจากการตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลองมีความสอดคล้องกันในช่วงที่มีค่าระดับกลิ่นสูงโดยพิจารณาในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นทิศทางที่ได้รับกลิ่นสูงจากการตรวจวัดแต่ในช่วงที่มีค่าระดับต่ำ ๆ นั้น ยังมีความแตกต่างกันอยู่

จุดสังเกตประการหนึ่งคือค่าจากแบบจำลองเมื่อปรับแก้ด้วยสมการถดถอยแล้วจะไม่มีค่าที่เท่ากับศูนย์ทั้งที่ในการตรวจวัดกลิ่นมีช่วงเวลาตรวจวัดที่พบว่าไม่มีกลิ่น แต่เนื่องจากสมการถดถอยมีค่าจุดตัดแกนจึงทำให้ค่าจากแบบจำลองมีค่าต่ำสุดเท่ากับจุดตัดแกน ซึ่งค่าจุดตัดแกนนี้ตามการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความสำคัญที่ระดับ 0.05 จึงไม่สามารถตัดออกได้ สำหรับในส่วนนี้เมื่อนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบจะพิจารณาที่ระดับ D/T ที่ 15 ขึ้นไป ดังนั้นค่าจากแบบจำลองที่มีค่าจุดตัดแกนจึงไม่มีผลต่อการประเมินผลกระทบขึ้นไป

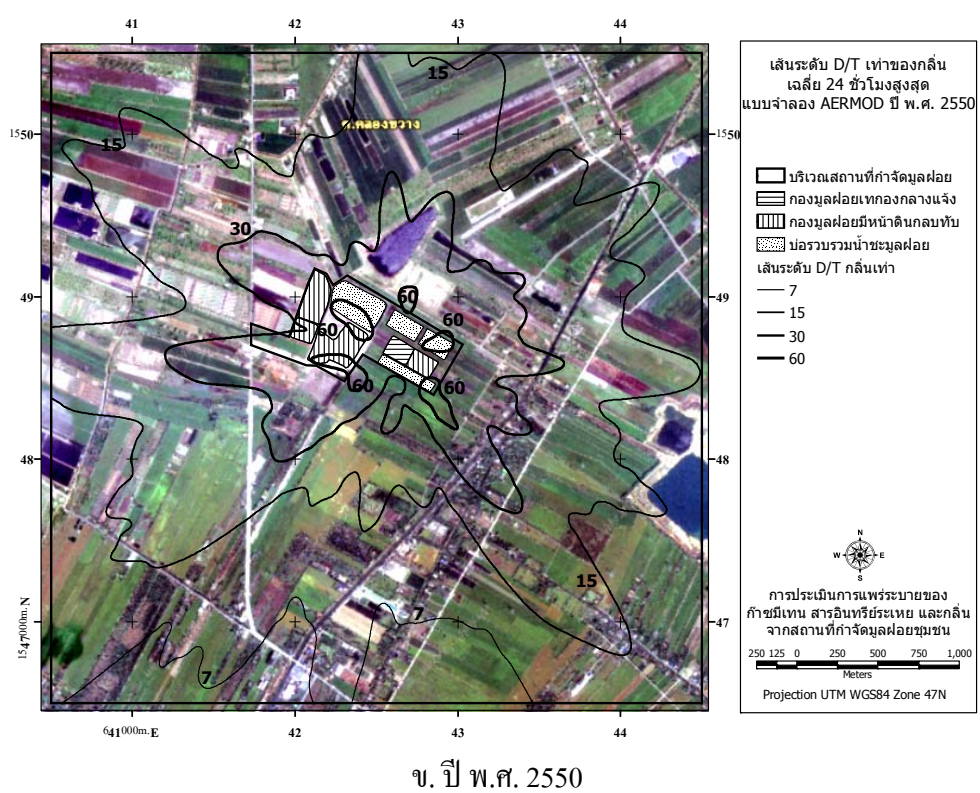
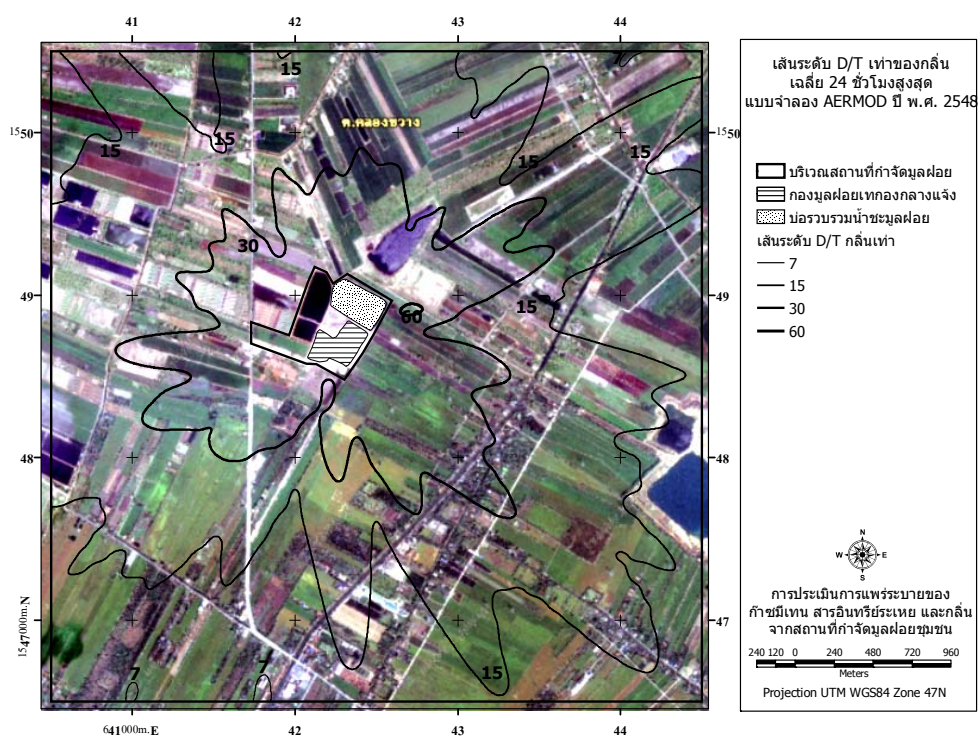
แผนที่การแพร่กระจายของกลิ่นแสดงเส้นระดับ D/T เท่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดจากแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ที่ปรับเทียบตามสมการถดถอยอย่างง่ายของปี พ.ศ. 2550 แสดงในภาพที่ 47 แสดงให้เห็นระยะทางจากสถานที่กำจัดมูลฝอยที่มีโอกาสได้รับกลิ่นในระดับ 30 D/T ซึ่งเริ่มก่อความรำคาญ และระดับ 15 D/T ซึ่งเริ่มทำให้จำกลิ่นได้



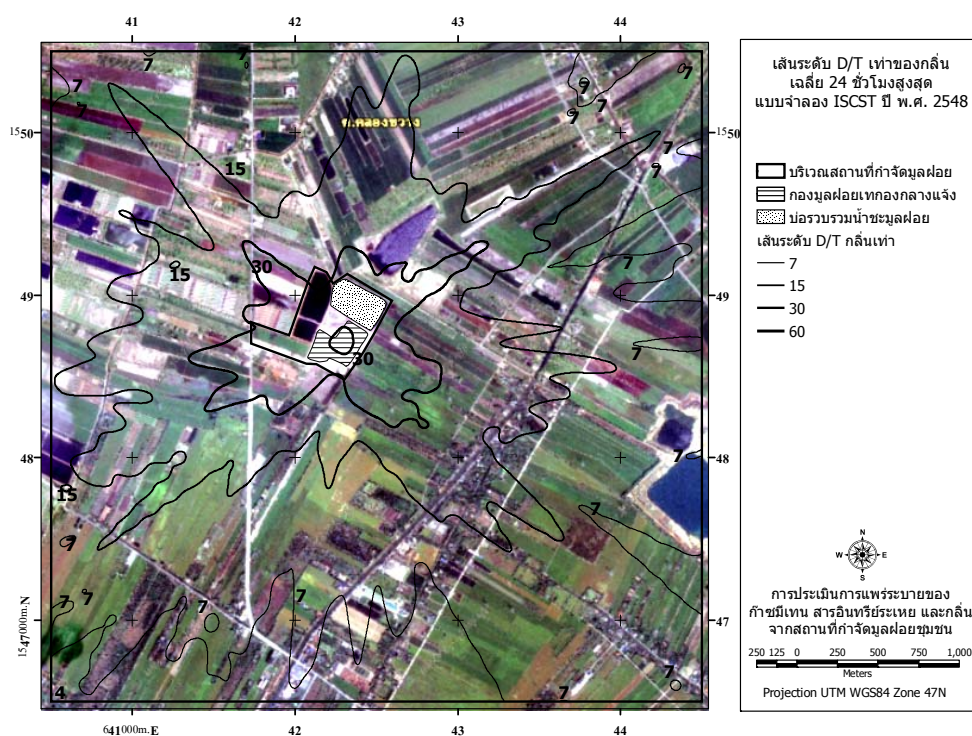
ภาพที่ 45 ค่า D/T ของกลิ่นจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในฤดูแล้งปี พ.ศ. 2550



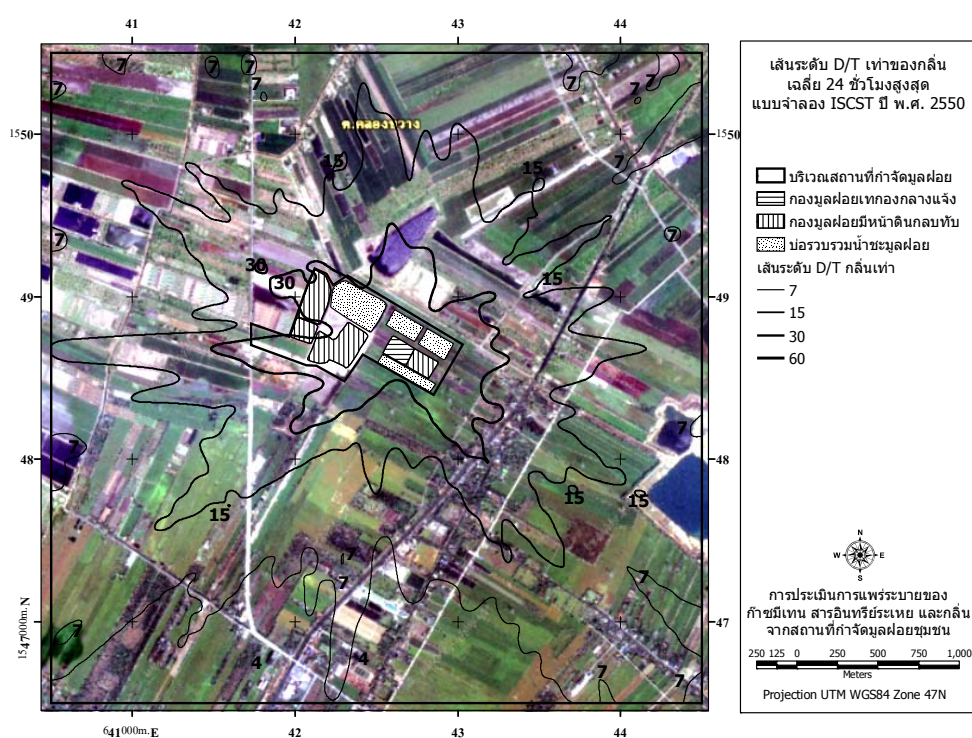
ภาพที่ 46 ค่า D/T ของกลิ่นจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับแบบจำลอง AERMOD และ ISCST ในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2550



ภาพที่ 47 เส้นระดับ D/T ของกลิ่นเท่าจากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550



ก. ปี พ.ศ. 2548

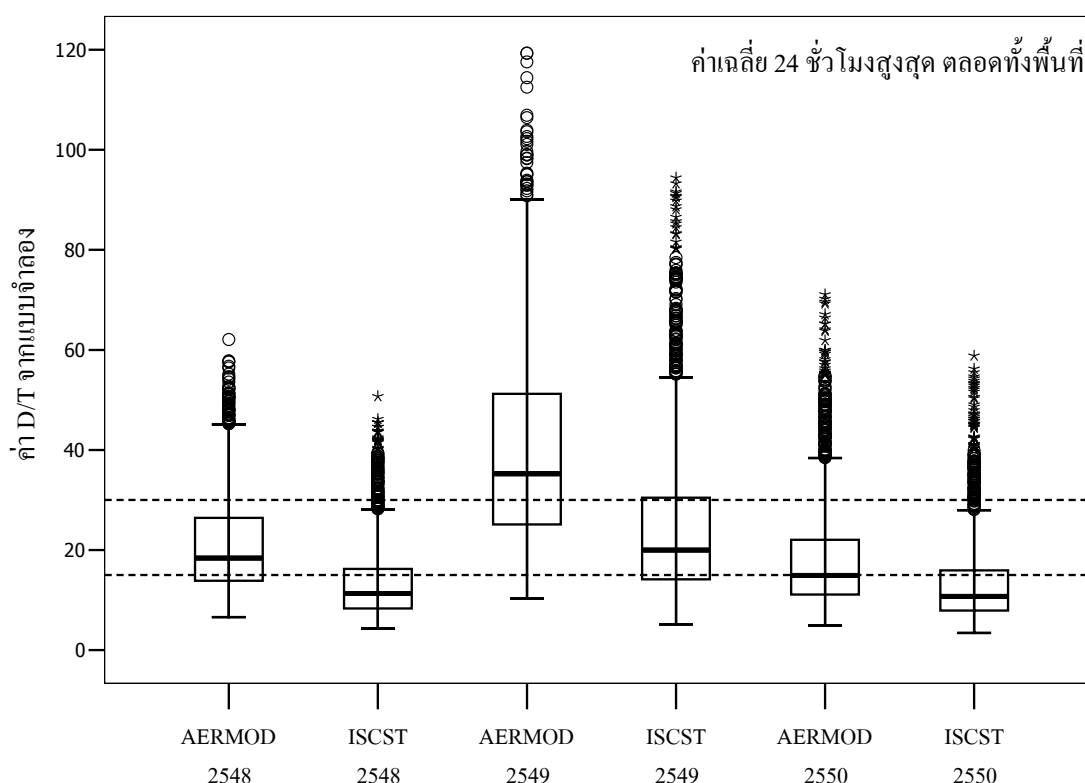


ข. ปี พ.ศ. 2550

ภาพที่ 48 เส้นระดับ D/T ของกลิ่นเท่าจากแบบจำลอง ISCST ในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550

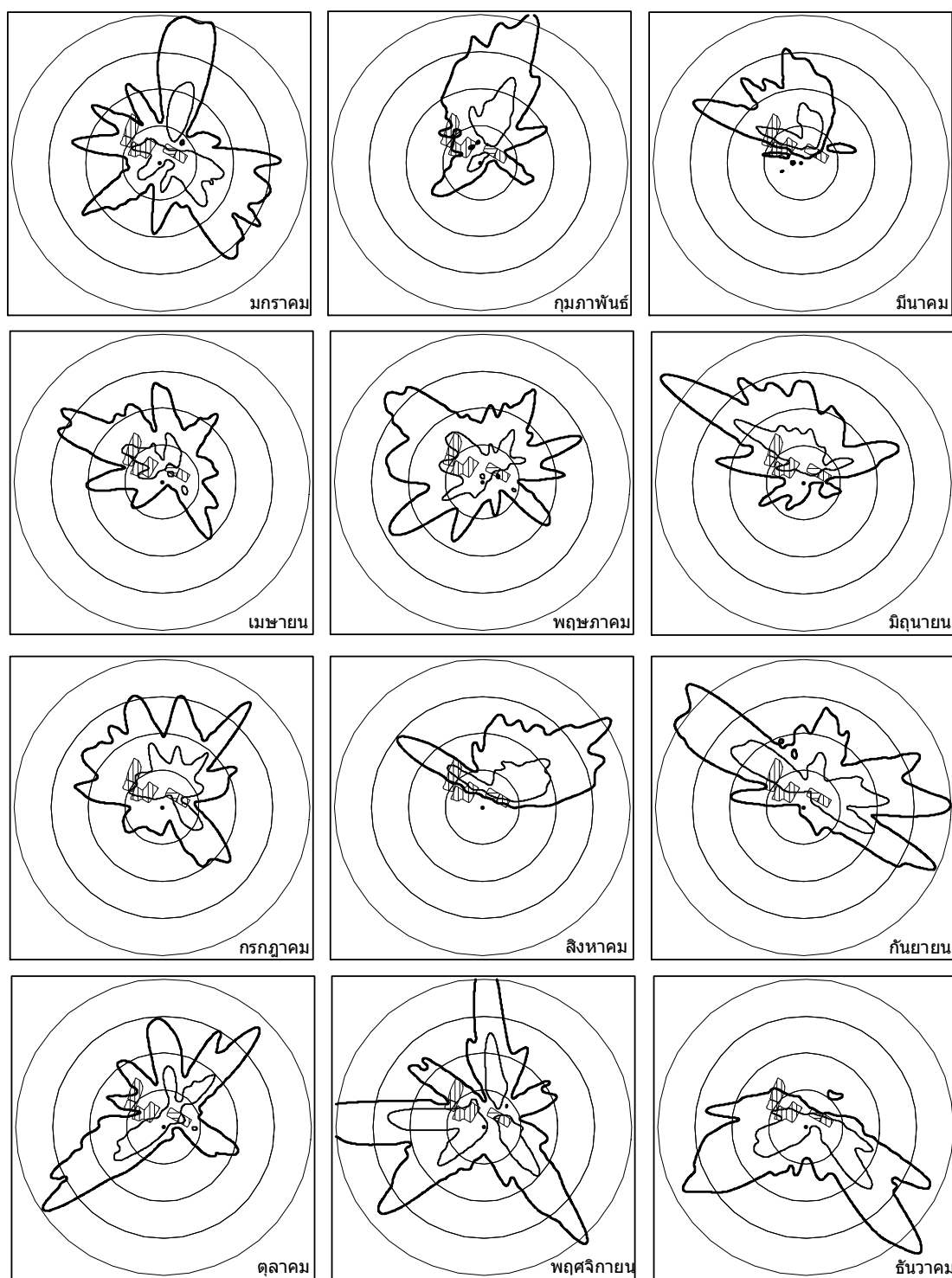
4.3 ระดับผลกระทบจากการแพร่กระจายของกลิ่น

การประเมินระดับผลกระทบจากกลิ่นพิจารณาค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง แสดงข้อมูลโดยเปรียบเทียบกับระดับการแพร่กระจายกลิ่นซึ่งมีกฎหมายกำหนดเป็นมาตรฐานที่อัตราส่วนการเจือจาง 15 เท่าซึ่งเป็นระดับที่เริ่มทำให้ได้กลิ่น และอัตราส่วนการเจือจาง 30 เท่า ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนการเจือจางในระดับที่เริ่มก่อความรำคาญต่อคน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)



ภาพที่ 49 ค่า D/T ของกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดในปี พ.ศ. 2548-2550

ค่า D/T เฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดในภาพที่ 49 เป็นค่าซึ่งระบุความเป็นไปได้ที่จะมีความรุนแรงของกลิ่นสูงสุดเฉลี่ยใน 1 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาในปี พ.ศ. 2550 โดยแบบจำลอง AERMOD พบว่าพื้นที่ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ศึกษาจัดว่ารับรู้กลิ่นได้ ในขณะที่แบบจำลอง ISCST พบว่ามีพื้นที่ร้อยละ 25 มีโอกาสได้รับกลิ่นที่ระดับ 15 D/T เปรียบเทียบกับในปี พ.ศ. 2548 แล้วพบว่ามีความรุนแรงของการแพร่กระจายกลิ่นลดลง



รัศมีวงกลมห่างกันวงละ 500 เมตร แสดงค่า D/T ของกลิ่นที่ 15-D/T และ 30-D/T

ภาพที่ 50 ค่า D/T ของกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดรายเดือนจากแบบจำลอง AERMOD
ในปี พ.ศ. 2550

การวิเคราะห์ข้อมูลในปี พ.ศ. 2550 เพิ่มเติมจากการพิจารณาเพียงค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุดในปี พ.ศ. 2550 เป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดของแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2550 ดังแสดงในภาพที่ 50 สำหรับแบบจำลอง AERMOD ซึ่งจะพบว่าระดับการแพร่กระจายของกลิ่นในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ในช่วงเวลาจากเดือนมกราคมถึงกรกฎาคมจะมีระดับการแพร่กระจายของกลิ่นในระดับที่น้อยกว่าในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม แต่รูปแบบการกระจายตัวของกลิ่นเกิดขึ้นในทุกทิศทาง สำหรับเดือนสิงหาคมถึงธันวาคมพบว่า การแพร่กระจายของกลิ่นมีระดับรุนแรงกว่าในช่วงครึ่งแรกของปีและมีทิศทางที่ได้รับผลกระทบสูงค่อนข้างแน่นอน เดือนที่ได้รับผลกระทบสูงสุดคือเดือนพฤศจิกายนซึ่งมีระดับการแพร่กระจายกลิ่นสูงและเกิดในทุกทิศทาง

ผลกระทบจากการแพร่กระจายกลิ่นสู่พื้นที่โดยรอบสถานที่กำจัดมูลฝอยในแต่ละทิศทางนั้นไม่เท่ากันและส่งผลกระทบไปถึงพื้นที่แต่ละส่วนไม่เท่ากัน โดยถ้าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเป็นพื้นที่เกษตรกรรมจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าพื้นที่ที่เป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งเมื่อศึกษาระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยกับระยะทางที่ทำให้ได้รับผลกระทบต่อคนไม่เกินกำหนดโดยใช้ค่า 30 D/T ซึ่งมีในกฎหมายกำหนดและจากการศึกษาของ สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549) ซึ่งระบุว่าเป็นระดับที่ก่อความรำคาญในคน เพื่อกำหนดระยะทางที่ได้รับผลกระทบในแต่ละทิศทางในปี พ.ศ. 2550 และเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2548 โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Exponential ระหว่างระยะทางจากสถานที่กำจัดมูลฝอยกับระดับ D/T ของกลิ่นเพื่อคำนวณหาระยะทางที่ทำให้ไม่ได้รับกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดเกินกว่า 30 D/T และ 15 D/T ซึ่งได้ผลออกมาดังในตารางที่ 36

พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเมื่อพิจารณาจากระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยจากตารางที่ 36 ร่วมกับเส้นระดับ D/T เท่าในภาพที่ 47 ในแต่ละทิศทางซึ่งส่งผลกระทบต่อชุมชนพบว่า ทางทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือมีผลกระทบไปถึงชุมชนที่อยู่อาศัยบ้านคลองห้าร้อยและบ้านคลองตาค้าย ต่อเนื่องไปถึงทิศทางตะวันออกเฉียงใต้เป็นชุมชนที่อยู่อาศัยบ้านคลองห้าร้อยและเป็นทิศทางไปสู่โรงพยาบาลไทรน้อยซึ่งอยู่ห่างไปประมาณ 2.5 กิโลเมตร สำหรับด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ชุมชนที่อยู่ในทิศทางและได้รับผลกระทบที่สำคัญคือบริเวณหมู่บ้านไทรน้อยซึ่งอยู่ห่างออกไปเพียง 500 เมตร ซึ่งหมู่บ้านนี้มีโอกาสได้รับผลกระทบจากกลิ่นค่อนข้างมากโดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว นอกจากนี้ทิศทางนี้ยังเป็นทิศทางไปสู่ตัวอำเภอไทรน้อยซึ่งอยู่ห่างออกไปประมาณ 3 กิโลเมตร

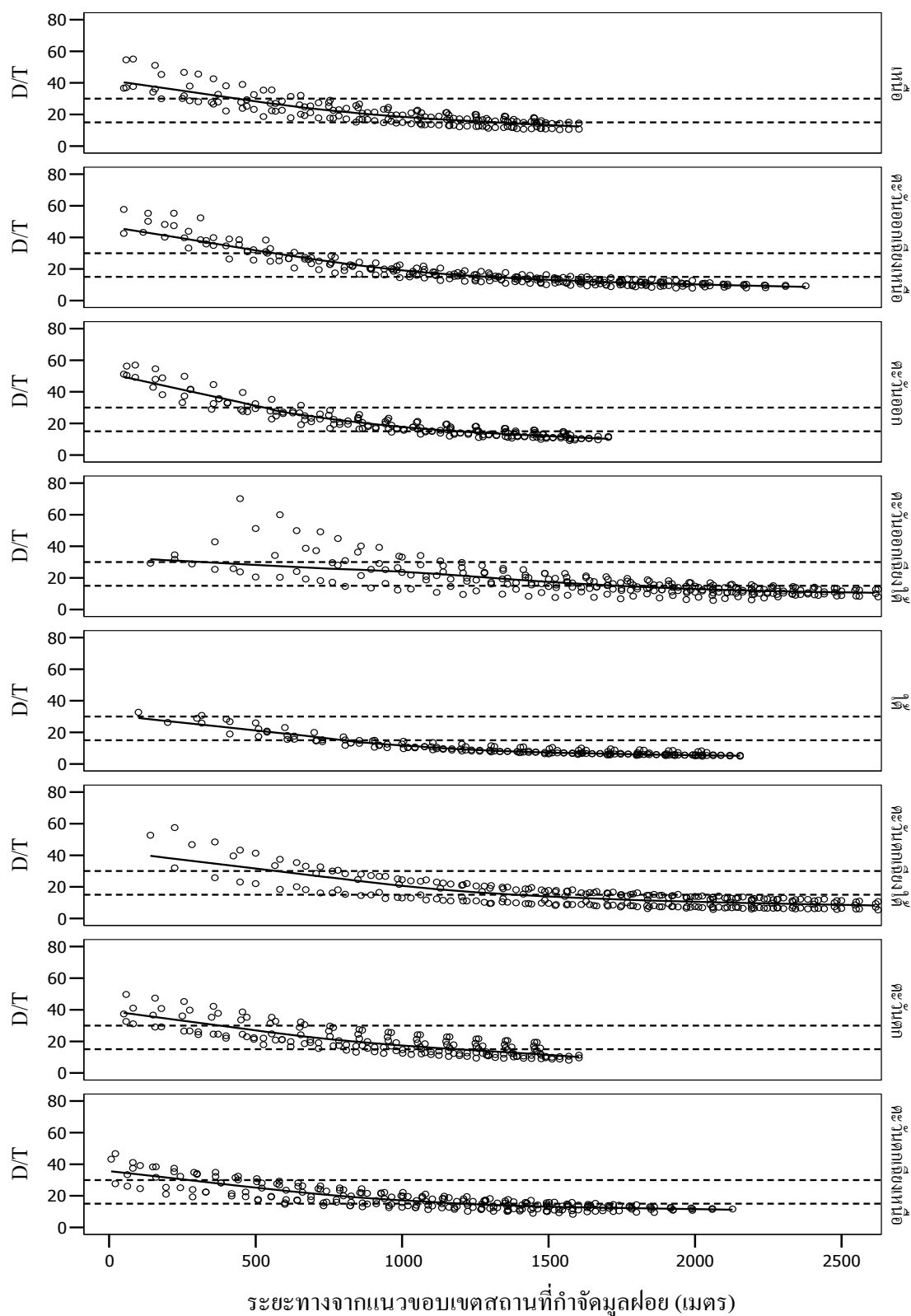
ตารางที่ 36 ระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยที่จะได้รับผลกระทบจากกลิ่น
ไม่เกินอัตราส่วนเจือจาง 30 เท่า และ 15 เท่า

ทิศทาง	ระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอย (เมตร)							
	พ.ศ. 2548				พ.ศ. 2550			
	30 D/T		15 D/T		30 D/T		15 D/T	
	AERMOD	ISCST	AERMOD	ISCST	AERMOD	ISCST	AERMOD	ISCST
เหนือ	627	131	1569	921	474	220	1180	917
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1103	593	1935	1347	558	265	1357	1027
ตะวันออก	671	375	1534	1113	522	276	1174	943
ตะวันออกเฉียงใต้	904	328	1955	1168	932	573	1667	1323
ใต้	682	172	1449	713	231	103	826	568
ตะวันตกเฉียงใต้	698	315	1633	1058	715	440	1483	1157
ตะวันตก	687	299	1524	1135	397	117	1115	767
ตะวันตกเฉียงเหนือ	445	89	1547	924	318	6	1189	802
เฉลี่ยจากทุกทิศทาง ^a	844	288	1643	1047	518	250	1249	938
เฉลี่ยจากทุกจุด ^b	1023	649	1816	1339	941	676	1604	1338

หมายเหตุ a = ค่าเฉลี่ยจากระยะทางในแต่ละทิศทาง

b = ค่าเฉลี่ยจากการนำข้อมูลจุดรับมลพิษตลอดทั้งพื้นที่มาคำนวณ

สำหรับระยะทางจากแนวขอบสถานที่กำจัดมูลฝอยที่จะทำให้ได้รับกลิ่นเฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงไม่เกิน 30 D/T เมื่อเปรียบเทียบกับในปี พ.ศ. 2548 ซึ่งมีกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้งเพียงกองเดียว กับในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งกองมูลฝอยกองเก่ากลับทับด้วยหน้าดินและมีกองมูลฝอยกองใหม่เกิดขึ้น ถ้าพิจารณาจากค่าเฉลี่ยรวมของทั้งพื้นที่จะพบว่าระยะทางลดลงเฉลี่ยประมาณ 100 เมตร แต่ถ้าพิจารณาแยกเป็นแต่ละทิศทางพบว่าระยะทางลดลงเฉลี่ยประมาณ 300 เมตร



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดจากแบบจำลอง AERMOD กับระยะทางจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยในปี พ.ศ. 2550

ข้อมูลสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในพื้นที่ซึ่งเป็นอาคารประเภทบ้านหรืออาคารเดี่ยว บ้านแฝด ทาวน์เฮาส์ และอาคารพาณิชย์ พบว่ามีจำนวน 1,092 แห่ง เมื่อนำตำแหน่งที่ตั้งมาประกอบกับข้อมูล การกระจายของกลิ่นที่ระดับ 15 D/T และ 30 D/T เพื่อหาจำนวนสิ่งปลูกสร้างหรือจำนวนของ หลังคาเรือนที่มีโอกาสได้รับกลิ่นเปรียบเทียบในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550 ดังในตารางที่ 37 สำหรับแบบจำลอง AERMOD พบว่าปัญหาผลกระทบด้านกลิ่นโดยรวมนั้นสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับ กลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดไม่เกิน 15 D/T มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น 168 แห่ง ในขณะที่สิ่งปลูกสร้างที่ ได้รับกลิ่นในระดับที่จากกลิ่นได้แต่ยังไม่ถึงก่อความเดือดร้อนรำคาญมีจำนวนลดลง ถึง 270 แห่ง แต่ สิ่งปลูกสร้างที่มีโอกาสได้รับกลิ่นในระดับที่เริ่มเกิดความรำคาญมีเพิ่มขึ้นประมาณ 100 แห่ง บริเวณหมู่บ้านไทรน้อยและบ้านคลองห้าร้อย สำหรับแบบจำลอง ISCST จำนวนสิ่งปลูกสร้างที่ ได้รับกลิ่นมากขึ้นมีเพิ่มขึ้นซึ่งก็คือบริเวณหมู่บ้านไทรน้อยเช่นกัน

ตารางที่ 37 จำนวนสิ่งปลูกสร้างที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากกลิ่น เปรียบเทียบระหว่าง ปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2550

ระดับกลิ่น (D/T)	จำนวนสิ่งปลูกสร้าง (แห่ง)							
	แบบจำลอง AEROD พ.ศ. 2550				แบบจำลอง ISCST พ.ศ. 2550			
	< 15	15 – 30	> 30	รวม	< 15	15 – 30	> 30	รวม
< 15	260	25	0	285	593	141	0	734
15 – 30	192	307	157	656	67	176	59	302
> 30	1	54	96	151	4	20	32	56
รวม	453	386	253	1092	664	337	91	1092

หมายเหตุ เปรียบเทียบกับแบบจำลองเดียวกันในปี พ.ศ. 2548

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากสถานที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี พบว่าอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนบนพื้นผิวมูลฝอยเทกองกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ย $3.99 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้งและ $5.23 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูฝน สำหรับบนพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีดินกลบทับมีค่าเฉลี่ย $20.87 \text{ g/m}^2\text{-d}$ และ $53.51 \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าในฤดูฝนมีอัตราการแพร่กระจายเฉลี่ยสูงกว่าฤดูแล้ง 1.31 เท่าสำหรับพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง และ 2.56 เท่าสำหรับพื้นผิวดินบนกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายเฉลี่ยจากพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งกับพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับ พบว่า ในฤดูแล้งพื้นผิวดินที่มีดินกลบทับมีอัตราการแพร่กระจายสูงกว่าพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง 5.23 เท่า และในฤดูฝนมากกว่า 10.23 เท่า แสดงให้เห็นว่าบนกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมีอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนสูงกว่ากองมูลฝอยเทกองกลางแจ้ง และในฤดูฝนจะมีอัตราการแพร่กระจายสูงกว่าในฤดูแล้ง

2. การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ซึ่งประกอบด้วย เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน พบว่าบนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งมีอัตราการแพร่กระจาย 2.14×10^{-2} , 1.94×10^{-2} , 1.01×10^{-2} และ $1.51 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ตามลำดับในฤดูแล้ง และมีค่า 1.03×10^{-2} , 1.40×10^{-2} , 0.88×10^{-2} , และ $0.92 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูฝน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอัตราการแพร่กระจายจากพื้นผิวดินของมูลฝอยที่มีดินกลบทับ ที่มีอัตราการแพร่กระจาย 7.11×10^{-2} , 9.76×10^{-2} , 4.80×10^{-2} และ $7.62 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ในฤดูแล้ง ส่วนในฤดูฝนพบว่ามีค่า 3.25×10^{-2} , 8.33×10^{-2} , 2.97×10^{-2} และ $4.90 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{-d}$ ตามลำดับ ซึ่งเช่นเดียวกับก๊าซมีเทนที่มีอัตราการแพร่กระจายจากกองมูลฝอยที่มีดินกลบทับสูงกว่ากองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง แต่ต่างกันที่อัตราการแพร่กระจายในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน

3. การทำนายความเข้มข้นของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX โดยแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง ISCST พบว่าเมื่อทดสอบแบบจำลองทั้งสองด้วยการทดสอบความแตกต่างประชากรแบบจับคู่ ให้ค่าการทำนายที่แตกต่างกันทางสถิติในทุกช่วงเวลาเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างด้วย Normalized root mean square error พบว่าแบบจำลอง ISCST มีความแตกต่างจากแบบจำลอง AERMOD ประมาณร้อยละ 10 เมื่อ

เปรียบเทียบค่ารายชั่วโมงสูงสุดและมีความแตกต่างกันน้อยลงเมื่อใช้ทำนายมลพิษที่มีระดับต่ำกว่า สำหรับค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุดมีความแตกต่างประมาณร้อยละ 8 และพบว่าเมื่อระยะเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันน้อยลง จนที่ระยะเวลาเฉลี่ยรวมรายปีมีความแตกต่างอยู่ประมาณร้อยละ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นมลพิษต่ำ ๆ แบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันน้อยกว่าระดับมลพิษที่สูงกว่า และความแตกต่างของแบบจำลองทั้งสองลดลงเมื่อระยะเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

4. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้สารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่ตรวจพบคือ เบนซีน โทลูอินและไซลีน พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.334, 0.307 และ 0.331 สำหรับแบบจำลอง AERMOD และมีค่า 0.193, 0.306 และ 0.234 สำหรับแบบจำลอง ISCST เมื่อเปรียบเทียบกรณีเดียวกันแล้วแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง AERMOD มีความสัมพันธ์กับการตรวจวัดจริงมากกว่า และเมื่อทดสอบด้วย Root mean square error พบว่าแบบจำลอง AERMOD ให้ผลการทดสอบที่ 0.169, 0.368 และ 0.221 เปรียบเทียบกับแบบจำลอง ISCST ซึ่งมีค่า 0.364, 0.953 และ 0.583 พบว่าแบบจำลอง AERMOD ให้ค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดจริงมากกว่า เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่าการตรวจวัดคลิ่นในการทดสอบพบว่าแบบจำลอง AERMOD มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.495-0.577 ในขณะที่แบบจำลอง ISCST มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในช่วง 0.422-0.528 แบบจำลอง AERMOD จึงมีความสัมพันธ์กับค่าการตรวจวัดจริงมากกว่าแบบจำลอง ISCST เมื่อใช้การตรวจวัดคลิ่นเป็นตัวทดสอบ

5. การเปรียบเทียบการแพร่กระจายของก๊าซก่อนมีการใช้กองมูลฝอยใหม่และหลังมีกองมูลฝอยใหม่พบว่ามีรูปแบบการแพร่กระจายที่เปลี่ยนไปเนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งและการวางตัวของกองมูลฝอยใหม่ นอกจากนี้ยังเข้าใกล้ชุมชนมากขึ้น ทำให้พื้นที่ชุมชนมีโอกาสได้รับสารพิษจากกองมูลฝอยมากขึ้น

6. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยจากการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่แพร่ระบายจากสถานที่กำจัดมูลฝอยโดยเปรียบเทียบค่ามาตรฐานด้านสุขภาพอนามัยของพนักงานในสถานที่กำจัดมูลฝอยเทียบกับมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการทำงานของ ACGIH, OSHA และ NIOSH พบว่ามีค่าความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐาน ในส่วนของการประเมินความเสี่ยงรวมจากสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX แบบการได้รับสารเรื้อรังตลอดช่วงอายุ พบว่ามีค่าดัชนีเสี่ยงอันตรายต่ำกว่าค่าวิกฤตจึงยังไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานและอยู่อาศัยในโดยรอบบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอย โดยเบนซินเป็นสารที่ให้ระดับความเสี่ยงอันตรายสูงที่สุด

7. การประเมินการแพร่กระจายของกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอย พบว่ามีโอกาสที่ชุมชนโดยรอบจะได้รับกลิ่นในระดับที่ก่อความรำคาญได้ โดยมีระยะทางเฉลี่ยจากขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยที่จะทำให้ไม่ได้รับกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด เกินกว่าระดับการเจือจาง 30 เท่า ซึ่งเป็นระดับที่เริ่มก่อความรำคาญเป็นระยะทางเฉลี่ย 940 เมตร ในขณะที่ระยะทางเฉลี่ยที่จะทำให้ไม่ได้รับกลิ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดเกินกว่าระดับการเจือจาง 15 เท่า ซึ่งเป็นระดับที่เริ่มจำกลิ่นได้คิดเป็นระยะทาง 1,600 เมตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี พ.ศ. 2548 ซึ่งมีกองมูลฝอยเก่ากองเดียวกับในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งมีกองมูลฝอยใหม่ที่มีการใช้น้ำดินกลบทับเป็นครั้งคราวพบว่า ระยะทางเฉลี่ยจากแนวขอบเขตสถานที่กำจัดมูลฝอยมีค่าลดลงประมาณ 300 เมตร โดยพื้นที่ได้รับผลกระทบจากกลิ่นประกอบไปด้วยชุมชนบ้านคลองห้าร้อยทางด้านตะวันออกต่อเนื่องถึงทางตะวันออกเฉียงใต้ และหมู่บ้านไพรน้อยทางด้านตะวันตกเฉียงใต้

ข้อเสนอแนะ

1. การตรวจวัดอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหย ควรมีการเก็บตัวอย่างโดยเพิ่มช่วงเวลามากขึ้นอาจเก็บตามฤดูกาลโดยแบ่งเป็นสภาพแล้ง สภาพร้อนชื้น และฤดูฝน หรือเก็บเป็นรายชั่วโมงเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กระจายตามช่วงเวลา ตลอดจนการเก็บข้อมูลเป็นรายเดือนจะช่วยให้ได้ค่าอัตราการแพร่กระจายนำเข้าแบบจำลองที่สมบูรณ์ขึ้น
2. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอุณหภูมิ ลมและทิศทางลมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำนายความเข้มข้นด้วยแบบจำลอง ควรมีการตรวจวัดข้อมูลเหล่านี้ในสถานที่กำจัดมูลฝอย ซึ่งจะช่วยให้อ้างอิงข้อมูลมีความถูกต้องและเฉพาะเจาะจงกับพื้นที่มากขึ้น
3. ปัญหากลิ่นรบกวนมีโอกาสกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ควรใช้มาตรการเพื่อช่วยลดการแพร่กระจายกลิ่นโดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวที่มีผลกระทบสูงโดยการกลบกองมูลฝอยให้บ่อยขึ้น หรือเปิดพื้นที่เทกองกลางแจ้งให้น้อยลง
4. สารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX มีการแพร่กระจายสูงในฤดูหนาวเนื่องจากสภาพภูมิอากาศ และอัตราการแพร่กระจายในฤดูแล้งที่สูงกว่าฤดูฝน การใช้น้ำชะมูลฝอยรดหน้าดินกลบทับในช่วงฤดูแล้งจะช่วยลดอัตราการแพร่กระจายและช่วยให้การแพร่กระจายลดน้อยลง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2541ก. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง โทลูอิน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. (เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ)
- _____. 2541ข. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง ไซลีน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. (เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ)
- _____. 2542. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง เบนซีน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. (เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ)
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๘. ราชกิจจานุเบกษา. แหล่งที่มา:
<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2548/00164279.PDF>, 19 กรกฎาคม 2550.
- ทรงศักดิ์ ทรัพย์ประพฤทธิ. 2545. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลแบบเทกองเปิดและแบบสุขาภิบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2537. การสร้างโมเดลเพื่อการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยอบรมสิ่งแวดล้อม, (อัคราณา)
- มณีรัตน์ บุษบา. 2549. การประเมินอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มีศักดิ์ มลิทวิสมัย. 2540. การตรวจสอบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ในดินและน้ำใต้ดิน, น. 20-21. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่องการปนเปื้อนของสารอันตรายในน้ำบาดาล. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์. 2525. การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้อินทรีย์วัตถุเป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณ เลาวกุล. 2544. หลักการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ. (อัครา ลำเนา)

วรารุณ เสือดี. 2543. เอกสารประกอบการบรรยาย วิชา วส321 มลพิษทางอากาศ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปทุมธานี. (อัครา ลำเนา)

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, พัฒนา มุลพฤกษ์ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2541. การป้องกันและควบคุมมลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. โครงการสำรวจปัญหาและการแพร่กระจายของกลิ่นจากฟาร์มสุกร. เกี่ยวกับโครงการ. แหล่งที่มา: <http://www.erdia.or.th/doc/odor.pdf>, 25 พฤศจิกายน 2550.

สรณ์ สุวรรณโชติ. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบผลการทำนายความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISCST และ AERMOD. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุนิสา คงนิม. 2541. การปลดปล่อยก๊าซที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในชั้นบรรยากาศและการควบคุมในประเทศไทย, ใน เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ เรื่องการเปลี่ยนแปลงของโลก 5-8 ตุลาคม 2541. โครงการบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา. 2534. การประเมินผลกระทบ (ทำนาย) ด้านอากาศจากโครงการถนนและทางด่วน/ทางยกระดับ, น. 2-1- 2-15. การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้านอากาศและเสียง โครงการถนนและทางด่วน/ทางยกระดับ. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

แสงสันต์ พานิช. 2545. ความรู้ทั่วไปทางด้านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอากาศ, น. 29-41. ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติครั้งที่ 1 เรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการประเมินความเสี่ยงในการจัดการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 20 พฤศจิกายน 2545. ศูนย์แบบจำลองและประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ ผิวนิล. 2541. การศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักขยะชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุคร ระโหฐาน. 2545. การสำรวจและวิเคราะห์เพื่อจัดทำแนวทางการจัดการการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยที่ลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน บริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อันชรีย์ ขนนไทย. 2547. อิทธิพลของหน้าดินชั้นสุดท้ายต่อการระบายสารอินทรีย์ระเหยจากพื้นที่กำจัดมูลฝอยชุมชน. 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.

Alexandria, V.A. 1995. **Odor Control in Wastewater Treatment Plants.** American Society of Civil Engineers, New York, USA.

Atkins, N. 2005. **Air Pollution Dispersion: Ventilation Factor.** Air Pollution Dispersion.

Available Source:

http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter18/dispersion_intro.html, May 13, 2006.

- Beychok, M.R. 2005. **Fundamentals Of Stack Gas Dispersion**. 4th ed. author-published, U.S.A.
- Bosanquet, C.H. and J.L. Pearson. 1936. The spread of smoke and gases from chimneys. **Trans. Faraday Soc.** 32: 1249.
- Bounicor, J.A. and D.T. Wayne. 1992. **Air Pollution Engineering Manual**. Van Nostrand Reinhold, Inc., USA.
- Brode, R.W. 2006. **AERMOD Technical Forum**. Clean Air Info. Available Source: http://www.cleanairinfo.com/regionalstatelocalmodelingworkshop/documents/Brode_AERMOD_TechnicalForum.pdf, October 25, 2007.
- Brooks, B.I. and P.J. Young. 1983. The Development of Sampling and Gas Chromatography-mass Spectrometry Analytical Procedures to Identify and Determine the Minor Organic Components of Landfill Gas. **Talanta** 30: 665-676.
- Chiemchaisri, C., W. Chiemchaisri and A. Sawat. 2006. Mitigation of Methane Emission from Solid Waste Disposal Site in the Tropics by Vegetated Cover Soil. **Asian Journal of Water, Environmental and Pollution** 3 (2): 29-33.
- Christensen, T.H., R. Cossu and R. Stegmann. 1996. **Landfill of waste**. E & FN Spon., London, U.K.
- Dent, C.G., P.E. Scott and G. Baldwin. 1986. Proceedings of Energy from Landfill Gas Conference, pp. 130-149. **Energy from Landfill Gas Conference**. Department of the Environment, Soilhull, England.
- Derwent, R.G. 1995. Sources, Distributions and Fates of VOCs in the Atmosphere, pp. 1-15. In R.E. Hester and R.M. Harrison, eds. **Volatile Organic Compounds in the Atmosphere**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K.

- Dunn, R.J. and U.P. Singh. 1995. **Landfill Closures- Environmental Protection and Land Recovery**. American Society of Civil Engineers, New York, U.S.A.
- 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.
- European Union Joint Research Centre. 2005. **Features of Dispersion Models**. Setting up the modelling exercise. Available Source: <http://rem.jrc.cec.eu.int/etex/37.htm>, April 18, 2006.
- Hunter, P. and S.T. Oyama. 2000. **Control of Volatile Organic Compound Emissions**. A Wiley – Interscience Publ. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Integrated Risk Information System. 2007. **Compare IRIS Values Results**. Compare IRIS Values Results [IRIS] U.S. EPA. Available Source: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/compare.cfm>, October 3, 2007.
- Kjeldsen, P. and E.V. Fischer. 1995. Landfill Gas Migration- Field Investigations at Skellingsted Landfill. **Waste Management & Research** 13 (5): 467-484.
- Louvar, J.F. 1998. **Health and Environmental Risk Analysis Fundamentals ith Applications**. Prentice Hall PTR, New Jersey, USA.
- Patrick, D.R. 1994. **Toxic Air Pollution Handbook**. Van Nostrand Reinhold, Company, Inc., New York, U.S.A.
- Schultz, T., A. Balch and S. Bowley. 2002. Odour Intensity Measurement: An Overview of its Potential for Use in Odour Impact Assessment and Control. **Clean Air and Environmental Quality** 36(3): 38-41.

- Sheffield, R., M. Thompson, B. Dye and D. Parker. 2004. **Evaluation of Field-based Odor Assessment Methods**. Nasal Ranger Media Center. Available Source: <http://www.nasalranger.com/Media.cfm>, September 28, 2005.
- Scott, A. A., C. Visvanathan, N. Husain and C. Chomsurin. 2000. Design and Construction of Engineered Municipal Solid Waste Landfills in Thailand. **Waste management and Research** 18 (5): 462-470.
- Shen, T.T., C.E. Schmidt and T.R. Card. 1993. **Assessment and Control of VOC Emission from Waste Treatment and Disposal Facilities**. Von Nostrand Reinhold, Company, Inc., New York. U.S.A.
- Sutton, O.G. 1947a. The Problem of Diffusion in the Lower Atmosphere. **QJRMS** 73: 257.
- Sutton, O.G. 1947b. The Theoretical Distribution of Airborne Pollution from Factory Chimneys. **QJRMS** 73: 426.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. **Integrated Solid Waste Management, Engineering Principal and Management Issue**. McGraw-Hill, New York.
- Thepanondh, S. 2006. **Establishment of VOCs Emission Inventory in Thailand: A Report on Methodology and Early Results**. Seminar on Development of Environmental and Emission Standard of VOCs. Available Source: http://www.pcd.go.th/info_serv/en_air_seminarVOC.html, April 3, 2007.
- University of Colorado. 2003. **Rapid Mapping for Clean Air in Commerce City, Colorado**. EMPACT: Environmental Monitoring for Public Access and Community Tracking. Available Source: <http://www.colorado.edu/geography/babs/empact%20draft%20web%2018apr%2004/about%20aermod.htm>, November 27, 2007.

Turner, D.B. 1967. **Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates.** RA Taft Sanitary Engineering Centre, Cincinnati, Ohio.

U.S. EPA. 1995. **User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models Volume II – Description of Model Algorithms.** U.S. EPA Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina, USA.
(Unpublished manuscript)

_____. 1997. **Emission Factor Documentation for AP-42 Section 2.4 Municipal Solid Waste Landfills Revised.** U.S. EPA Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina, USA. (Unpublished manuscript)

_____. 2004a. **AERMOD: Description of Model Formulation.** U.S. EPA Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina, USA.
(Unpublished manuscript)

_____. 2004b. **User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET).** U.S. EPA Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina, USA. (Unpublished manuscript)

_____. 2005. **40 CFR Part 51 Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions; Final Rule.** EPA's Guideline on Air Quality Models Federal Register Rules and Regulations. Available Source:
http://www.epa.gov/scram001/guidance/guide/appw_05.pdf, May 12, 2006.

Verchueren, K. 1996. **Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals.** 2nd ed. n.p., U.S.A.

- 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 (3): 243-261.
- Yassaa, N., M.Y. Meklati, A. Cecinato and F. Marino. 2001. Organic Aerosols in Urban and Waste Landfill of Algiers Metropolitan Area: Occurrence and Sources. **Environ. Sci. Tech** 35 (2): 306-311.
- Young, P.J. and L.A. Heasman. 1985. Proceedings of GRCDA 8th International Landfill Gas Symposium., pp. 93-114. *In* **International Landfill Gas Symposium 8th**. San Antonio, Texas, USA.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพการศึกษา



ก. กองมูลฝอย D1 ก่อนใช้ดินกลบทับ
(กรกฎาคม พ.ศ. 2548)



ข. กองมูลฝอย D1 ระหว่างใช้ดินกลบทับ
(มิถุนายน พ.ศ. 2549)



ค. กองมูลฝอย D1 หลังใช้ดินกลบทับ
(พฤษภาคม พ.ศ. 2550)



ง. กองมูลฝอย D2 และ D3 มีดินกลบทับ
(พฤษภาคม พ.ศ. 2550)



จ. กองมูลฝอย D4 แบบเทกองกลางแจ้ง
(สิงหาคม พ.ศ. 2550)



ฉ. กองมูลฝอย D4 ขณะใช้น้ำดินกลบทับ
(กันยายน พ.ศ. 2550)

ภาพผนวกที่ ก1 สภาพพื้นที่กำจัดมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี



ก. จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 ด้านตะวันออกเฉียงเหนือ
พิกัด 643000E 1548800N



ข. จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ด้านทิศเหนือ
พิกัด 642600E 1549000N



ค. จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ด้านตะวันตกเฉียงเหนือ
พิกัด 642000E 1549300N



ง. จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ด้านทิศตะวันตก
พิกัด 641800E 1548800N



จ. จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 หมู่บ้านไทรน้อยด้านทิศใต้
พิกัด 642100E 1548200N



ฉ. จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 นาข้าวด้านทิศตะวันออก
พิกัด 643000E 1548300N

ภาพผนวกที่ ก2 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศและตรวจวัดกลิ่นรอบสถานที่กำจัดมูลฝอย



ก. การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยการครอบฟลักซ์บนพื้นผิวดินกองมูลฝอยที่มีดินกลบทับ



ข. การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยการครอบฟลักซ์บนพื้นผิวมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง



ค. การตรวจวัดกลิ่นบริเวณกองมูลฝอย



ง. การตรวจวัดกลิ่นที่จุดเก็บตัวอย่างโดยรอบ

ภาพผนวกที่ ก3 การเก็บตัวอย่างก๊าซและกลิ่นจากสถานที่กำจัดมูลฝอย

ภาคผนวก ข

ผลการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางผนวกที่ ข1 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กชั้นพื้นผิวดินในฤดูแล้ง

จุดเก็บ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	%CH ₄	dC/dt	R ²
S1	42	0	0.133	0.803	0.912
		20	0.199		
		40	0.492		
		60	0.928		
S2	41	0	0.099	0.932	0.903
		20	0.657		
		40	0.937		
		60	1.042		
S3	41	0	0.180	1.395	0.996
		20	0.641		
		40	1.043		
		60	1.597		
S4	38	0	0.112	0.366	0.985
		20	0.199		
		40	0.366		
		60	0.464		
S5	37	0	0.035	0.372	0.967
		20	0.122		
		40	0.228		
		60	0.414		
S6	39	0	0.050	0.207	0.979
		20	0.115		
		40	0.209		
		60	0.249		
S7	38	0	0.076	0.082	0.973
		20	0.099		
		40	0.139		
		60	0.154		
S8	38	0	0.011	0.23	0.967
		20	0.055		
		40	0.134		
		60	0.241		

ตารางผนวกที่ ข2 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กชั้นพื้นผิวมูลฝอยในฤดูแล้ง

จุดเก็บ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	%CH ₄	dC/dt	R ²
G1	41	0	0.033	0.064	0.983
		20	0.055		
		40	0.07		
		60	0.1		
G2	40	0	0.026	0.068	0.999
		20	0.05		
		40	0.071		
		60	0.095		
G3	40.5	0	0.032	0.111	0.977
		20	0.066		
		40	0.093		
		60	0.147		
G4	42	0	0.017	0.195	0.991
		20	0.067		
		40	0.149		
		60	0.207		
G5	40	0	0.026	0.106	0.958
		20	0.038		
		40	0.088		
		60	0.128		

ตารางผนวกที่ ข3 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กชั้นพื้นผิวดินในฤดูฝน

จุดเก็บ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	%CH ₄	dC/dt	R ²
S1	38	0	0.031	1.950	0.953
		20	0.348		
		40	1.019		
		60	1.974		
S2	39	0	0.042	1.844	0.944
		20	0.324		
		40	0.936		
		60	1.887		
S3	38.5	0	0.086	1.239	0.925
		20	0.410		
		40	1.136		
		60	1.221		
S4	39	0	0.149	0.817	0.951
		20	0.237		
		40	0.618		
		60	0.930		
S5	40	0	0.295	1.415	0.989
		20	0.619		
		40	1.172		
		60	1.683		
S6	39.5	0	0.253	1.500	0.992
		20	0.661		
		40	1.154		
		60	1.756		
S7	38	0	0.011	0.519	0.977
		20	0.241		
		40	0.417		
		60	0.529		
S8	38	0	0.009	0.450	0.990
		20	0.129		
		40	0.276		
		60	0.460		

ตารางผนวกที่ ข4 ความเข้มข้นก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กชั้นพื้นผิวมูลฝอยในถาดุฝน

จุดเก็บ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	%CH ₄	dC/dt	R ²
G1	38	0	0.03	0.013	0.961
		20	0.033		
		40	0.037		
		60	0.044		
G2	39	0	0.013	0.336	0.968
		20	0.101		
		40	0.188		
		60	0.358		
G3	44	0	0.03	0.164	0.640
		20	0.203		
		40	0.206		
		60	0.212		
G4	43	0	0.053	0.115	0.704
		20	0.161		
		40	0.173		
		60	0.177		
G5	42	0	0.023	0.076	0.938
		20	0.035		
		40	0.059		
		60	0.1		

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนจากอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ แสดงตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างที่ S3 ในตารางผนวกที่ ข1 ซึ่งเป็นตัวอย่างจากพื้นผิวดินในฤดูแล้ง

จากข้อมูลพบว่า อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบฟลักซ์เท่ากับ 41°C ค่าความชันแบบเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซในอุปกรณ์ครอบฟลักซ์กับเวลามีค่า 1.395 %/hr โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.996

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

ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 41°C	= 1.1236	kg/m ³
ความถ่วงจำเพาะของก๊าซมีเทน	= 0.55	
ความหนาแน่นของก๊าซมีเทนในอากาศ (p)	= 1.1236 x 0.55	
	= 0.6179	kg/m ³
ปริมาตรของอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ (V)	= 0.049	m ³
ปิดล้อมของอุปกรณ์ครอบฟลักซ์ (A)	= 0.188	m ²
ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซที่เปลี่ยนแปลง ($\Delta C/\Delta t$)	= 1.395	%/hr

$$\begin{aligned} \text{อัตราการแพร่กระจาย (F)} &= [(0.6179 \text{ kg/m}^3)(0.049 \text{ m}^3)(1.395 \text{ \%/hr})]/[0.188 \text{ m}^2] \\ &= 2.25 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{-hr} \\ &= 53.93 \text{ g/m}^2\text{-d} \end{aligned}$$

ตารางผนวกที่ ข5 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์

จุดเก็บ	ความเข้มข้น (mg/m ³)							
	ฤดูแล้ง				ฤดูฝน			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
S1	22.40	28.80	11.93	16.18	15.06	30.86	10.49	11.83
S2	16.96	14.30	12.70	16.84	2.31	9.38	4.14	11.45
S3	15.01	19.37	3.69	11.82	10.19	11.93	1.44	8.02
S4	7.79	9.10	7.15	6.19	4.68	17.55	2.71	3.27
S5	10.63	12.91	6.70	13.67	3.30	7.67	2.12	7.90
S6	9.00	30.70	12.47	17.10	5.45	21.60	10.70	7.65
S7	3.97	2.16	3.38	7.07	0.74	6.31	4.28	4.94
S8	6.22	9.00	3.93	9.02	0.85	3.05	2.37	7.75
G1	4.27	5.26	1.84	3.16	1.82	2.82	1.60	1.69
G2	4.46	3.46	1.72	2.68	3.24	3.24	1.52	1.94
G3	3.50	2.56	1.64	2.34	0.70	2.40	0.80	1.51
G4	2.71	2.30	1.48	1.57	1.22	1.04	1.68	1.38
G5	1.71	1.07	1.28	1.97	1.10	1.26	1.48	0.76

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์ แสดงตัวอย่างเบนซีนจากจุดเก็บตัวอย่างที่ S3 ในตารางผนวกที่ ข5 ซึ่งเป็นตัวอย่างจากพื้นผิวดินใน ฤดูแล้ง โดยมีสมมติฐานว่าความเข้มข้นเริ่มต้นในอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนความเข้มข้นสุดท้ายที่วัดได้หลังทำการครอบปลั๊กซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่ามีค่าเท่ากับ 15.01 mg/m³

$$F = \frac{VC}{At}$$

ปริมาตรของอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์ (V)	= 0.049	m ³
เปิดล้อมของอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์ (A)	= 0.188	m ²
ความเข้มข้นสุดท้ายของก๊าซ(C)	= 15.01	mg/m ³
อัตราการแพร่กระจาย (F) = [(0.049 m ³)(mg/m ³)]/[(0.188 m ²)(1 hr)]		
	= 3.91	mg/m ² -hr
	= 0.0939	g/m ² -d

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX
จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2550

								($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ชนิด	ระยะเวลา	ค่าต่ำสุด	P ₅	มัธยฐาน	P ₉₅	ค่าสูงสุด	เฉลี่ย	P ₉₅ -P ₅
มีเทน	1hr	1275.67	1836.10	3967.86	8758.54	13303.81	4471.02	6922.44
	8hr	159.46	299.60	995.08	3165.79	6446.52	1245.25	2866.19
	24hr	55.85	106.34	389.56	1388.88	3258.44	503.21	1282.54
	รายเดือน	4.34	8.88	47.96	243.94	956.34	75.77	235.07
	รายปี	1.71	3.27	14.53	72.42	278.40	22.81	69.15
เบนซีน	1hr	1.4239	2.3661	3.9118	8.5400	11.2992	4.5349	6.1739
	8hr	0.3381	0.4799	1.0358	3.5614	6.7899	1.3735	3.0816
	24hr	0.1131	0.1742	0.3882	1.4395	2.7177	0.5266	1.2653
	รายเดือน	0.0099	0.0237	0.0708	0.3358	0.8696	0.1077	0.3121
	รายปี	0.0033	0.0070	0.0230	0.1183	0.4028	0.0371	0.1112
โทลูอิน	1hr	2.0836	3.4315	6.2865	13.5957	20.5602	7.1210	10.1642
	8hr	0.3281	0.6348	1.7104	5.4186	9.8250	2.1706	4.7838
	24hr	0.1099	0.2391	0.6604	2.3009	5.0617	0.8614	2.0618
	รายเดือน	0.0114	0.0319	0.0970	0.4553	1.4991	0.1483	0.4234
	รายปี	0.0041	0.0089	0.0323	0.1665	0.6473	0.0526	0.1576
เอทิล เบนซีน	1hr	0.9059	1.5079	2.5214	5.5799	7.3367	2.9151	4.0719
	8hr	0.1686	0.3082	0.7147	2.3200	4.3589	0.9236	2.0118
	24hr	0.0542	0.1124	0.2655	0.9538	1.8062	0.3573	0.8414
	รายเดือน	0.0055	0.0152	0.0446	0.2143	0.5604	0.0681	0.1991
	รายปี	0.0019	0.0042	0.0145	0.0755	0.2800	0.0235	0.0713
ไซลีน	1hr	1.4371	2.3883	4.0208	8.8644	12.1096	4.6440	6.4761
	8hr	0.2553	0.4862	1.1418	3.7010	6.8745	1.4739	3.2147
	24hr	0.0855	0.1770	0.4285	1.5525	2.9812	0.5732	1.3755
	รายเดือน	0.0088	0.0238	0.0706	0.3400	0.8860	0.1076	0.3162
	รายปี	0.0029	0.0066	0.0229	0.1184	0.4438	0.0369	0.1118

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX
จากแบบจำลอง ISCST ในปี พ.ศ. 2550

								($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ชนิด	ระยะเวลา	ค่าต่ำสุด	P ₅	มัธยฐาน	P ₉₅	ค่าสูงสุด	เฉลี่ย	P ₉₅ -P ₅
มีเทน	1hr	651.37	1458.48	3151.17	7577.21	11512.19	3618.15	6118.73
	8hr	93.08	226.40	676.49	2391.00	5340.49	891.34	2164.60
	24hr	31.99	84.94	265.01	1050.73	2607.81	366.98	965.79
	รายเดือน	2.71	6.06	31.00	186.49	700.12	55.04	180.43
	รายปี	1.02	2.15	9.42	57.37	201.92	16.65	55.22
เบนซีน	1hr	1.1202	2.0968	3.5379	7.8447	11.5627	4.0616	5.7479
	8hr	0.1867	0.3789	0.7607	2.6292	6.9864	1.0146	2.2503
	24hr	0.0622	0.1360	0.2785	1.0822	2.4032	0.3920	0.9463
	รายเดือน	0.0055	0.0169	0.0479	0.2559	0.8521	0.0783	0.2390
	รายปี	0.0018	0.0044	0.0149	0.0917	0.3314	0.0270	0.0874
โทลูอิน	1hr	1.6656	3.0413	5.2597	11.8534	17.7408	6.0552	8.8120
	8hr	0.2756	0.5357	1.2202	4.0676	9.0119	1.5966	3.5319
	24hr	0.1116	0.1925	0.4650	1.7463	4.0594	0.6386	1.5538
	รายเดือน	0.0058	0.0213	0.0644	0.3498	1.1336	0.1073	0.3285
	รายปี	0.0023	0.0057	0.0209	0.1294	0.4721	0.0379	0.1237
เอทิล เบนซีน	1hr	0.7883	1.3847	2.3256	5.1401	7.6198	2.6724	3.7554
	8hr	0.1134	0.2508	0.5168	1.7908	4.4692	0.6878	1.5399
	24hr	0.0402	0.0913	0.1938	0.7552	1.5144	0.2673	0.6639
	รายเดือน	0.0028	0.0100	0.0297	0.1643	0.5468	0.0494	0.1544
	รายปี	0.0010	0.0027	0.0093	0.0582	0.2128	0.0169	0.0555
ไซลีน	1hr	1.2435	2.1935	3.6930	8.2241	12.0441	4.2570	6.0306
	8hr	0.1857	0.3958	0.8271	2.8373	7.0345	1.0981	2.4416
	24hr	0.0658	0.1440	0.3109	1.2062	2.3909	0.4284	1.0622
	รายเดือน	0.0044	0.0160	0.0468	0.2586	0.8640	0.0778	0.2425
	รายปี	0.0016	0.0042	0.0147	0.0914	0.3340	0.0266	0.0872

ตารางผนวกที่ ข8 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX
จากแบบจำลอง AERMOD ในปี พ.ศ. 2548

								($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ชนิด	ระยะเวลา	ค่าต่ำสุด	P ₅	มัธยฐาน	P ₉₅	ค่าสูงสุด	เฉลี่ย	P ₉₅ -P ₅
มีเทน	1hr	109.37	137.01	206.62	311.86	369.95	213.99	174.85
	8hr	19.01	28.83	54.69	123.25	174.09	62.32	94.42
	24hr	7.06	11.00	23.33	58.12	83.55	27.46	47.12
	รายเดือน	1.04	1.89	4.20	16.83	43.30	5.99	14.94
	รายปี	0.22	0.46	1.45	7.59	26.37	2.40	7.12
เบนซีน	1hr	0.1213	0.1519	0.2291	0.3458	0.4102	0.2373	0.1938
	8hr	0.0211	0.0320	0.0606	0.1366	0.1930	0.0691	0.1047
	24hr	0.0078	0.0122	0.0259	0.0644	0.0926	0.0304	0.0522
	รายเดือน	0.0012	0.0021	0.0047	0.0187	0.0480	0.0066	0.0166
	รายปี	0.0003	0.0005	0.0016	0.0084	0.0292	0.0027	0.0079
โทลูอิน	1hr	0.0806	0.1010	0.1523	0.2299	0.2727	0.1577	0.1289
	8hr	0.0140	0.0213	0.0403	0.0908	0.1283	0.0459	0.0696
	24hr	0.0052	0.0081	0.0172	0.0428	0.0616	0.0202	0.0347
	รายเดือน	0.0008	0.0014	0.0031	0.0124	0.0319	0.0044	0.0110
	รายปี	0.0002	0.0003	0.0011	0.0056	0.0194	0.0018	0.0052
เอทิล เบนซีน	1hr	0.0044	0.0055	0.0083	0.0125	0.0148	0.0086	0.0070
	8hr	0.0008	0.0012	0.0022	0.0049	0.0070	0.0025	0.0038
	24hr	0.0003	0.0004	0.0009	0.0023	0.0034	0.0011	0.0019
	รายเดือน	0.0000	0.0001	0.0002	0.0007	0.0017	0.0002	0.0006
	รายปี	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0011	0.0001	0.0003
ไซลีน	1hr	0.0292	0.0366	0.0552	0.0833	0.0988	0.0571	0.0467
	8hr	0.0051	0.0077	0.0146	0.0329	0.0465	0.0166	0.0252
	24hr	0.0019	0.0029	0.0062	0.0155	0.0223	0.0073	0.0126
	รายเดือน	0.0003	0.0005	0.0011	0.0045	0.0116	0.0016	0.0040
	รายปี	0.0001	0.0001	0.0004	0.0020	0.0070	0.0006	0.0019

ตารางผนวกที่ ข9 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX
จากแบบจำลอง ISCST ในปี พ.ศ. 2548

								($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ชนิด	ระยะเวลา	ค่าต่ำสุด	P ₅	มัธยฐาน	P ₉₅	ค่าสูงสุด	เฉลี่ย	P ₉₅ -P ₅
มีเทน	1hr	44.07	109.16	173.92	296.66	375.46	185.35	187.50
	8hr	10.07	18.12	36.75	97.52	145.90	44.50	79.40
	24hr	3.97	6.64	15.10	47.14	77.64	18.96	40.50
	รายเดือน	0.45	0.87	2.26	13.35	31.42	3.89	12.48
	รายปี	0.08	0.17	0.61	4.50	15.44	1.24	4.33
เบนซีน	1hr	0.0489	0.1210	0.1928	0.3289	0.4163	0.2055	0.2079
	8hr	0.0112	0.0201	0.0408	0.1081	0.1618	0.0493	0.0880
	24hr	0.0044	0.0074	0.0167	0.0523	0.0861	0.0210	0.0449
	รายเดือน	0.0005	0.0010	0.0025	0.0148	0.0348	0.0043	0.0138
	รายปี	0.0001	0.0002	0.0007	0.0050	0.0171	0.0014	0.0048
โทลูอิน	1hr	0.0325	0.0805	0.1282	0.2187	0.2768	0.1366	0.1382
	8hr	0.0074	0.0134	0.0271	0.0719	0.1076	0.0328	0.0585
	24hr	0.0029	0.0049	0.0111	0.0347	0.0572	0.0140	0.0299
	รายเดือน	0.0003	0.0006	0.0017	0.0098	0.0232	0.0029	0.0092
	รายปี	0.0001	0.0001	0.0005	0.0033	0.0114	0.0009	0.0032
เอทิล เบนซีน	1hr	0.0018	0.0044	0.0070	0.0119	0.0151	0.0074	0.0075
	8hr	0.0004	0.0007	0.0015	0.0039	0.0059	0.0018	0.0032
	24hr	0.0002	0.0003	0.0006	0.0019	0.0031	0.0008	0.0016
	รายเดือน	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0013	0.0002	0.0005
	รายปี	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0006	0.0000	0.0002
ไซลีน	1hr	0.0118	0.0292	0.0464	0.0792	0.1003	0.0495	0.0501
	8hr	0.0027	0.0048	0.0098	0.0260	0.0390	0.0119	0.0212
	24hr	0.0011	0.0018	0.0040	0.0126	0.0207	0.0051	0.0108
	รายเดือน	0.0001	0.0002	0.0006	0.0036	0.0084	0.0010	0.0033
	รายปี	0.0000	0.0001	0.0002	0.0012	0.0041	0.0003	0.0012

ตารางผนวกที่ ข10 ค่าสถิติทดสอบประชากรแบบจับคู่ทดสอบความแตกต่างของแบบจำลอง
AERMOD และ ISCST ในปี พ.ศ. 2550

ชนิด	ช่วง	Paired Differences					t	df	Sig. (2tailed)
	เวลาเฉลี่ย	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence				
					Lower	Upper			
มีเทน	1hr	852.8608	883.1685	21.5407	810.6114	895.1102	39.59	1,680	0.000
	8hr	353.9133	341.8887	8.3387	337.5579	370.2687	42.44	1,680	0.000
	24hr	136.2320	143.3080	3.4953	129.3764	143.0876	38.98	1,680	0.000
	Mo	20.7245	22.8292	0.5568	19.6324	21.8167	37.22	1,680	0.000
	Av	6.1618	5.6040	0.1367	5.8937	6.4299	45.08	1,680	0.000
เบนซีน	1hr	0.4733	0.7218	0.0176	0.4388	0.5078	26.89	1,680	0.000
	8hr	0.3589	0.3446	0.0084	0.3424	0.3754	42.70	1,680	0.000
	24hr	0.1346	0.1159	0.0028	0.1291	0.1402	47.63	1,680	0.000
	Mo	0.0294	0.0274	0.0007	0.0281	0.0307	43.95	1,680	0.000
	Av	0.0101	0.0086	0.0002	0.0097	0.0105	47.75	1,680	0.000
โทลูอิน	1hr	1.0659	1.2739	0.0311	1.0049	1.1268	34.30	1,680	0.000
	8hr	0.5741	0.5307	0.0129	0.5487	0.5995	44.35	1,680	0.000
	24hr	0.2228	0.2121	0.0052	0.2127	0.2330	43.06	1,680	0.000
	Mo	0.0410	0.0380	0.0009	0.0391	0.0428	44.22	1,680	0.000
	Av	0.0147	0.0133	0.0003	0.0141	0.0154	45.48	1,680	0.000
เอทิลเบนซีน	1hr	0.2426	0.4679	0.0114	0.2202	0.2650	21.26	1,680	0.000
	8hr	0.2358	0.2251	0.0055	0.2250	0.2465	42.95	1,680	0.000
	24hr	0.0900	0.0823	0.0020	0.0861	0.0939	44.81	1,680	0.000
	Mo	0.0187	0.0176	0.0004	0.0179	0.0196	43.61	1,680	0.000
	Av	0.0066	0.0059	0.0001	0.0063	0.0069	45.87	1,680	0.000
ไซลีน	1hr	0.3869	0.7384	0.0180	0.3516	0.4223	21.48	1,680	0.000
	8hr	0.3758	0.3595	0.0088	0.3586	0.3930	42.86	1,680	0.000
	24hr	0.1448	0.1333	0.0033	0.1384	0.1512	44.55	1,680	0.000
	Mo	0.0298	0.0278	0.0007	0.0285	0.0311	43.94	1,680	0.000
	Av	0.0103	0.0092	0.0002	0.0099	0.0108	46.06	1,680	0.000

ตารางผนวกที่ ข11 ค่าเปรียบเทียบความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากการตรวจวัด
เปรียบเทียบกับแบบจำลอง AERMOD และ ISCST

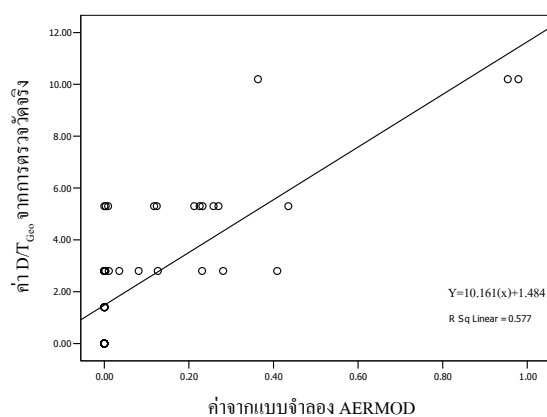
วันที่	จุดเก็บ	(µg/m ³)											
		เบนซีน			โทลูอีน			เอทิลเบนซีน			ไซลีน		
		O	A	I	O	A	I	O	A	I	O	A	I
26	5	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00
พ.ค.	6	0.71	0.55	0.71	0.30	0.70	0.87	0.12	0.35	0.43	0.43	0.55	0.67
27	1	0.43	0.29	0.40	0.22	0.31	0.36	n.d.	0.16	0.18	0.18	0.24	0.28
พ.ค.	2	n.d.	0.00	0.01	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00
16	5	n.d.	0.00	0.01	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00
มิ.ย.	6	0.38	0.52	0.78	0.23	0.67	0.99	n.d.	0.33	0.49	0.32	0.53	0.77
17	1	0.41	0.53	0.85	0.34	0.65	1.02	n.d.	0.32	0.51	0.19	0.51	0.79
มิ.ย.	2	0.11	0.01	0.03	n.d.	0.00	0.01	n.d.	0.00	0.00	n.d.	0.00	0.00
28	1	n.d.	0.12	0.97	n.d.	0.28	2.40	n.d.	0.11	0.88	n.d.	0.17	1.42
ก.ค.	1	n.d.	0.35	0.72	n.d.	0.86	1.76	n.d.	0.32	0.65	n.d.	0.51	1.04
29	1	0.39	0.10	0.13	0.53	0.24	0.34	0.17	0.09	0.12	0.23	0.14	0.20
ก.ค.	1	0.27	0.19	0.39	0.34	0.44	0.94	n.d.	0.17	0.35	0.33	0.26	0.56
18	1	0.18	0.45	0.75	0.81	1.02	1.64	n.d.	0.41	0.67	0.39	0.61	0.99
ส.ค.	1	n.d.	0.28	0.88	n.d.	0.64	2.16	n.d.	0.25	0.80	n.d.	0.38	1.28
19	1	0.47	0.53	1.12	0.59	1.29	2.78	n.d.	0.48	1.02	0.35	0.76	1.64
ส.ค.	1	n.d.	0.26	0.35	n.d.	0.57	0.76	n.d.	0.23	0.31	n.d.	0.34	0.46

หมายเหตุ O = การตรวจวัด A = แบบจำลอง AERMOD I = แบบจำลอง ISCST

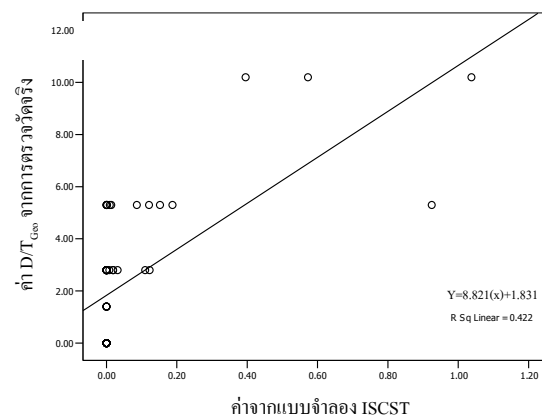
ค่าความเข้มข้นเป็นค่าความเข้มข้นรวม 4 ชั่วโมงตามช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ข12 ค่า D/T_{Geo} เฉลี่ยจากการตรวจวัดคลื่นในแต่ละช่วงเวลา ในปี พ.ศ. 2548-2550

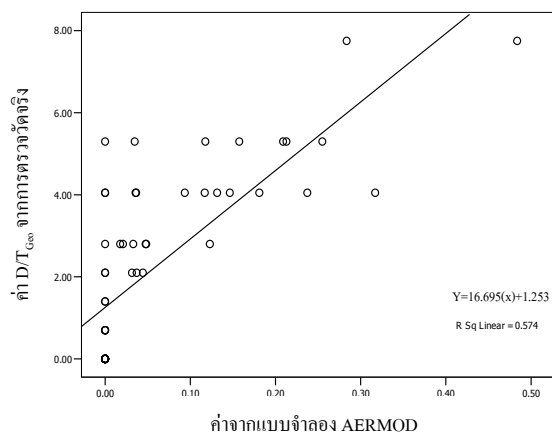
		(D/T_{Geo})									
วันที่	จุดเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง									
		9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
20 ส.ค. 2548	1	5.30	5.30	2.80	2.80	5.30	5.30	5.30	10.20	5.30	2.80
เก็บตัวอย่าง	2	2.80	5.30	10.20	2.80	2.80	10.20	5.30	5.30	5.30	2.80
จำนวน 1 คน	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	2.80	2.80	0.00	1.40
	4	2.80	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	2.80	1.40	2.80	2.80
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	2.80	2.80	1.40	2.80	5.30
16 มิ.ย. 2549	1	5.30	5.30	7.75	4.05	2.80	4.05	5.30	4.05	2.80	4.05
เก็บตัวอย่าง	2	2.80	4.05	5.30	2.10	2.80	2.80	2.10	4.05	5.30	4.05
จำนวน 2 คน	3	1.40	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00
	4	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	7.75
	6	2.80	2.10	2.10	2.10	5.30	4.05	4.05	4.05	4.05	2.80
10 มิ.ย. 2550	1	4.00	5.30	8.57	6.93	4.47	6.10	5.30	4.47	2.80	5.30
เก็บตัวอย่าง	2	2.80	2.70	4.47	1.87	2.80	2.80	2.33	5.30	5.30	3.63
จำนวน 3 คน	3	0.93	0.93	0.93	0.00	0.00	0.93	0.93	0.00	0.47	0.93
	4	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93	0.00
	6	1.87	0.93	1.87	1.87	4.47	4.47	4.47	3.63	5.30	6.10
29 ก.ค. 2550	1	2.33	6.93	10.20	8.57	4.47	6.93	4.47	4.47	3.63	3.63
เก็บตัวอย่าง	2	2.80	4.47	2.33	3.63	4.47	2.80	3.17	5.30	4.47	2.33
จำนวน 3 คน	3	2.33	1.40	0.93	0.00	0.00	1.40	0.93	0.93	1.40	1.40
	4	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.93	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.47	1.87	1.87	1.40	4.47	4.47	8.57	3.63	1.87	1.40



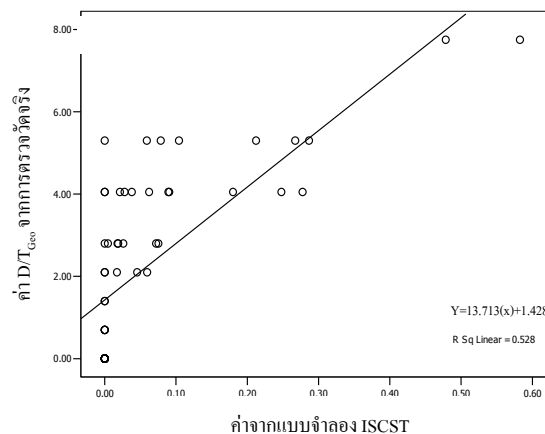
ก. แบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2548



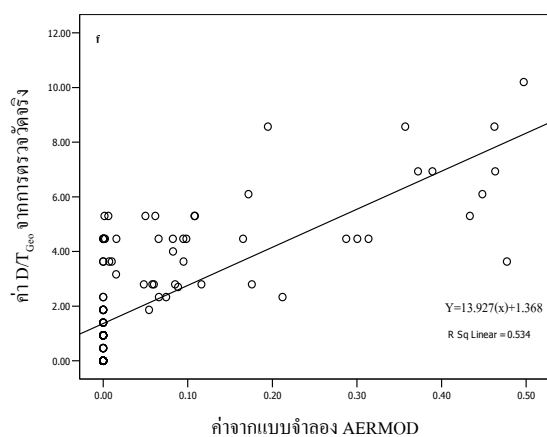
ข. แบบจำลอง ISCST ปี พ.ศ. 2548



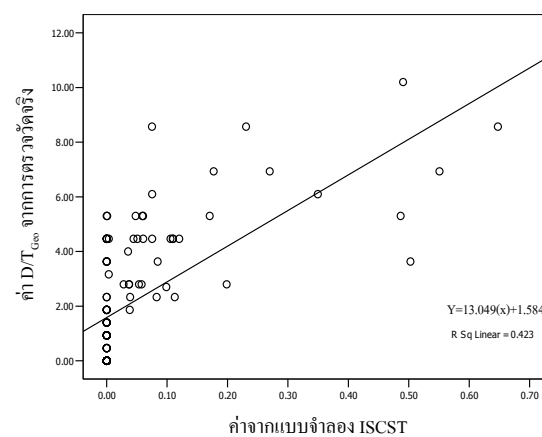
ค. แบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2549



ง. แบบจำลอง ISCST ปี พ.ศ. 2549



จ. แบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550



ฉ. แบบจำลอง ISCST ปี พ.ศ. 2550

ภาพผนวกที่ ข1 ความสัมพันธ์ของระดับกลิ่นระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากการตรวจวัดจริงในปี พ.ศ. 2548-2550

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลอง

4845607041200056000000790606	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิวน้ำภายใน 1 ชั่วโมง
4845607041201056080020790606	
4845607041202056040020790505	รหัสสถานี
4845607041203056350050780505	ปี ค.ศ. เดือน วันที่
4845607041204056350050780707	ชั่วโมงที่
4845607041205022320040780707	ความสูงของฐานเมฆ ในหน่วย x100 ฟุต
4845607041206022320030780707	ทิศทางลมเทียบกับทิศเหนือ ในหน่วย x10 องศา
4845607041207022020040790707	ความเร็วลม ในหน่วย knot
4845607041208022340050800808	อุณหภูมิ ในหน่วย ฟาเรนไฮต์
4845607041209056330050820808	ค่าการปกคลุมของเมฆ ในหน่วย ส่วนใน 10 ส่วน
4845607041210056330020840707	
4845607041211056000000870707	
4845607041212056050030890707	

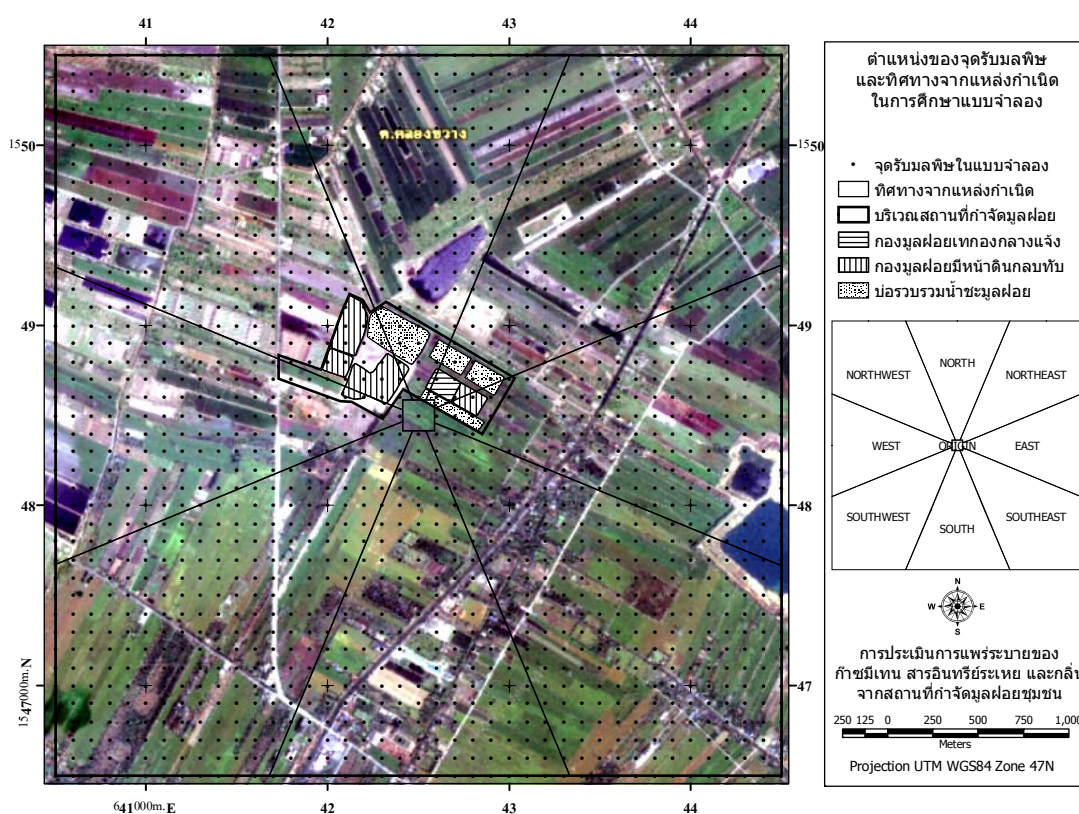
ภาพผนวกที่ ค1 ตัวอย่างข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในรูปแบบ SCRAM สำหรับนำเข้าสู่โปรแกรม
AERMET และ โปรแกรม PCRAMMET

254	12	12	APR	2007	ส่วนรายละเอียด (Header)	
1	48455	48455	13.73	100.50	20	99999
2	500	1040	776	51	7	3
3		9999			37	ms
9	10110	20	254	241	0	0
4	10000	99	252	212	320	26
5	9740	328	240	209	99999	99999
4	9250	783	224	178	60	5
4	8500	1514	190	130	195	26
5	8140	1882	170	100	99999	99999
5	7350	2740	124	54	99999	99999
4	7000	3155	100	50	190	51
5	6810	3382	90	20	99999	99999
5	5940	4493	12	-19	99999	99999

ภาพผนวกที่ ค2 ตัวอย่างข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับบนในรูปแบบ FSL สำหรับนำเข้าสู่โปรแกรม
AERMET และ โปรแกรม MIXHTS

48455	7	412	1485	1727	ข้อมูลความสูงผสมใน 1 วัน
48455	7	413	1253	1883	
48455	7	414	1692	2041	รหัสสถานี
48455	7	415	1451	2346	ปี ค.ศ. เดือน วันที่
48455	7	416	1640	2354	ความสูงผสมในช่วงเช้า (m)
48455	7	417	2348	3057	ความสูงผสมในช่วงบ่าย (m)
48455	7	418	1836	2338	
48455	7	419	1663	2118	
48455	7	420	2319	3050	

ภาพผนวกที่ ค3 ตัวอย่างข้อมูลความสูงผสมจากโปรแกรม MIXHTS เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม PCRAMMET



ภาพผนวกที่ ค4 ตำแหน่งจุดรับมลพิษที่กำหนดเพื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง

```

** To run the model, create the file AERMOD.INP and type:AERMOD
CO STARTING
  TITLEONE Evaluation of Methane, Volatile Organic Compounds and Odour Emission
  TITLETWO SAI NOI: SCENARIO //THIRD//
  MODELOPT CONC FLAT
  AVERTIME 1 8 24 MONTH PERIOD
  POLLUTID //BENZENE//
** HALFLIFE 1.8E05
  FLAGPOLE 1.5
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL ERRORS.OUT
CO FINISHED

SO STARTING
  ELEVUNIT METERS
  EMISUNIT 1.0E6 GRAMS/SEC MICROGRAMS/M**3
  LOCATION D1 AREAPOLY 642077 1548615 2.0
  SRCPARAM D1 1 10.0 8
  AREAVERT D1 642077 1548615 642144 1548786 642241 1548735
  AREAVERT D1 642331 1548845 642447 1548761 642319 1548566
  AREAVERT D1 642216 1548609 642167 1548593
  EMISFACT D1 MONTH 6*1.0111E-08 4*3.7917E-09 2*1.0111E-08
  LOCATION D2 AREAPOLY 641972 1548754 2.0
  SRCPARAM D2 1 10.0 4
  AREAVERT D2 641972 1548754 642012 1548870
  AREAVERT D2 642138 1548823 642095 1548713
  EMISFACT D2 MONTH 6*1.0111E-08 4*3.7917E-09 2*1.0111E-08
  LOCATION D3 AREAPOLY 642016 1548879 2.0
  SRCPARAM D3 1 10.0 5
  AREAVERT D3 642016 1548879 642120 1549163 642181 1549135
  AREAVERT D3 642220 1549042 642149 1548831
  EMISFACT D3 MONTH 6*1.0111E-08 4*3.7917E-09 2*1.0111E-08
  LOCATION D4 AREAPOLY 642541 1548654 2.0
  SRCPARAM D4 1 8.0 4
  AREAVERT D4 642541 1548654 642600 1548758
  AREAVERT D4 642735 1548682 642682 1548575
  EMISFACT D4 MONTH 6*2.4760E-07 2*1.1901E-07 2*3.7615E-07 2*8.2284E-07
  LOCATION D5 AREAPOLY 642682 1548575 2.0
  SRCPARAM D5 1 8.0 4
  AREAVERT D5 642682 1548575 642735 1548682
  AREAVERT D5 642878 1548598 642821 1548499
  EMISFACT D5 MONTH 4*2.4760E-07 2*8.2284E-07 4*3.7615E-07 2*2.4760E-07
  SRCGROUP ALL
SO FINISHED

RE STARTING
  ELEVUNIT METERS
  RE GRIDCART CG1 STA
  XYINC 640500 41 100 1546500 41 100
  RE GRIDCART CG1 END
  RE FINISHED

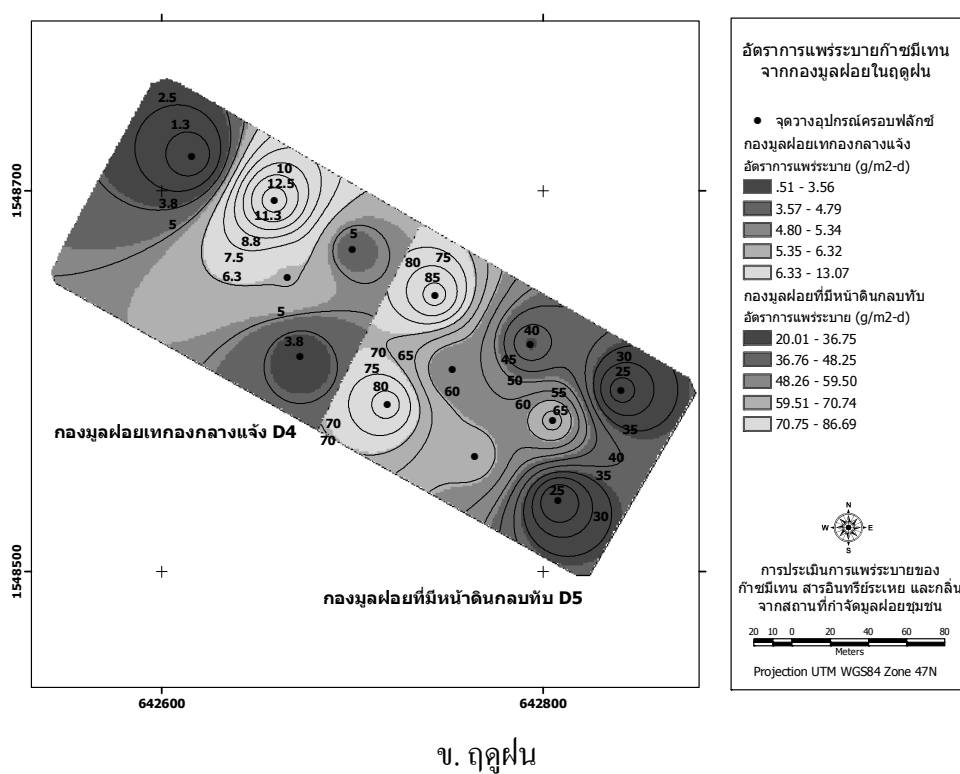
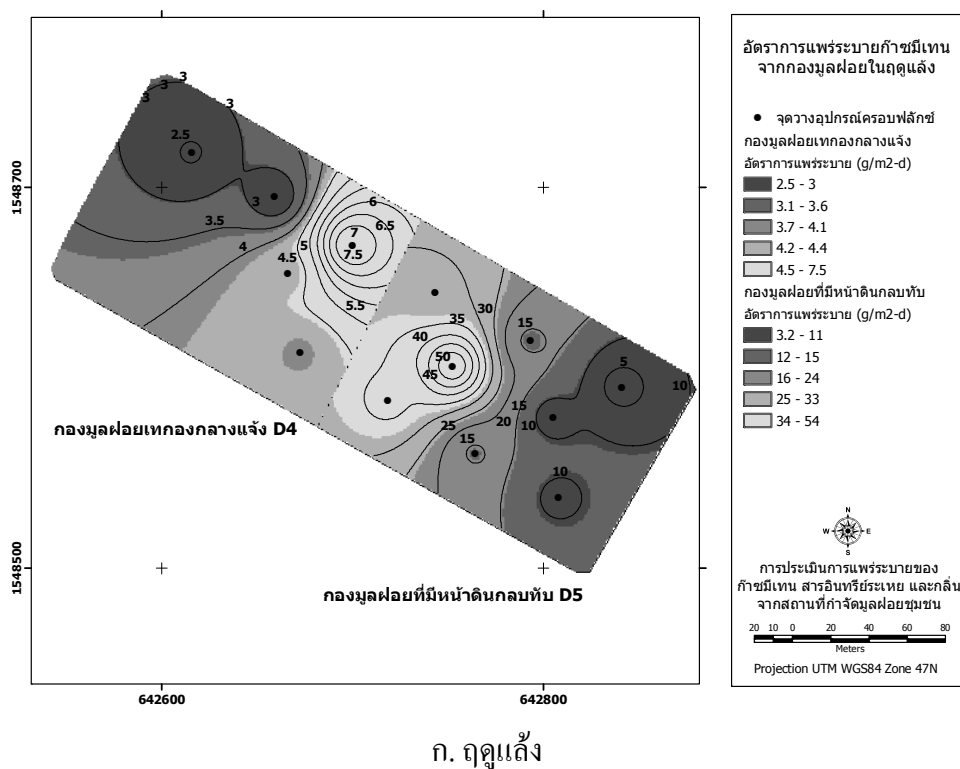
ME STARTING
  SURFFILE AERMET_07.SFC
  PROFFILE AERMET_07.PFL
  SURFDATA 48456 2007 DONMUANG-AIRPORT
  UAIRDATA 48455 2007 BANGKOK-METROPOLIS
** SITEDATA 99999 2007 SaiNoi
  WINDCATS 1.54 3.09 5.14 8.23 10.80
  PROFBASE 0.0 METERS
  STARTEND 07 01 01 07 12 31
ME FINISHED

OU STARTING
  RECTABLE ALLAVE FIRST-THIRD
  MAXTABLE ALLAVE 50
  POSTFILE MONTH ALL PLOT B3PSTMO.POS
  PLOTFILE 1 ALL FIRST B3PLT1.PLT
  PLOTFILE 8 ALL FIRST B3PLT8.PLT
  PLOTFILE 24 ALL FIRST B3PLT24.PLT
  PLOTFILE MONTH ALL FIRST B3PLTMO.PLT
  PLOTFILE PERIOD ALL B3PLTAV.PLT
OU FINISHED

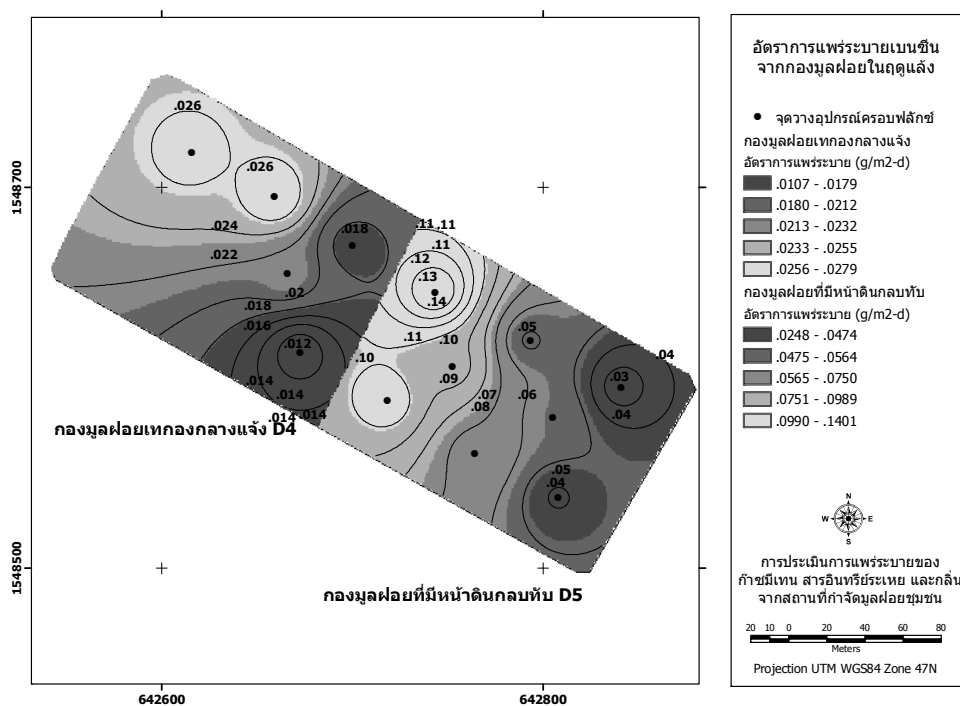
```

ภาพผนวกที่ ค5 ตัวอย่างข้อมูลควบคุมแบบจำลอง AERMOD เพื่อนำเข้าคำนวณความเข้มข้น

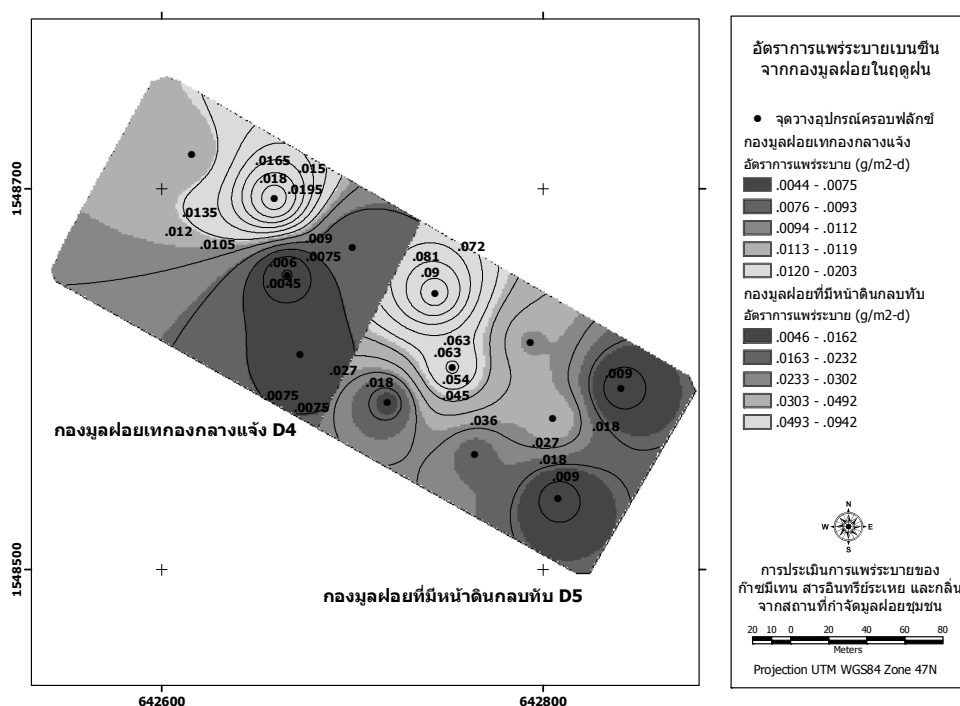
ภาคผนวก ง
แผนที่เส้นความเข้มข้นเท่า



ภาพผนวกที่ 1 อัตราค่าการแพร่กระจายก้ำขมิเทนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน

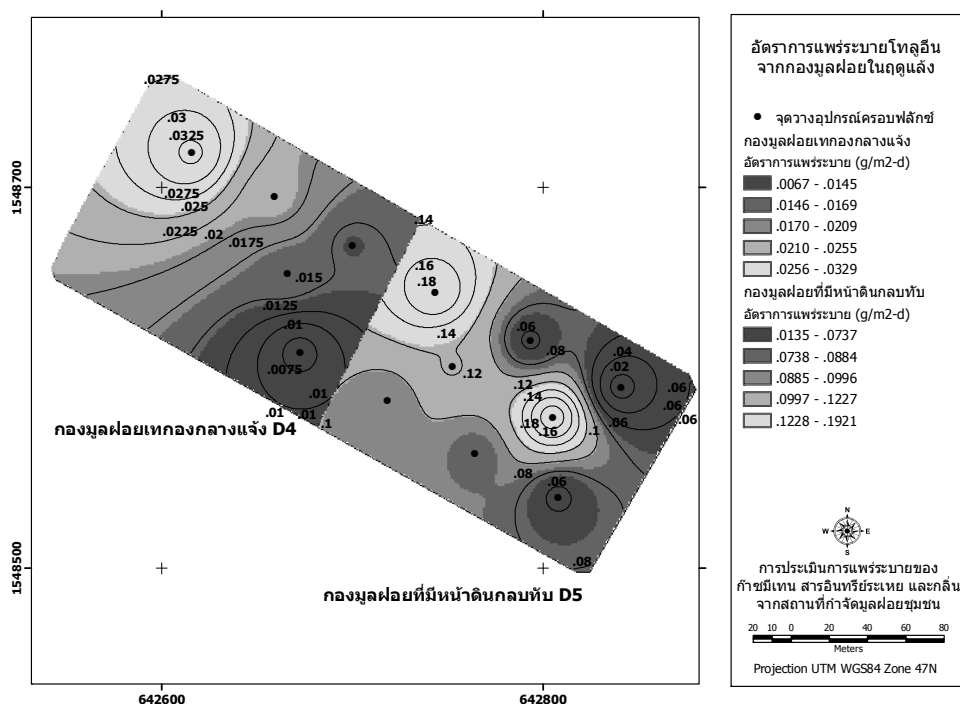


ก. ฤๅ๑๑๑

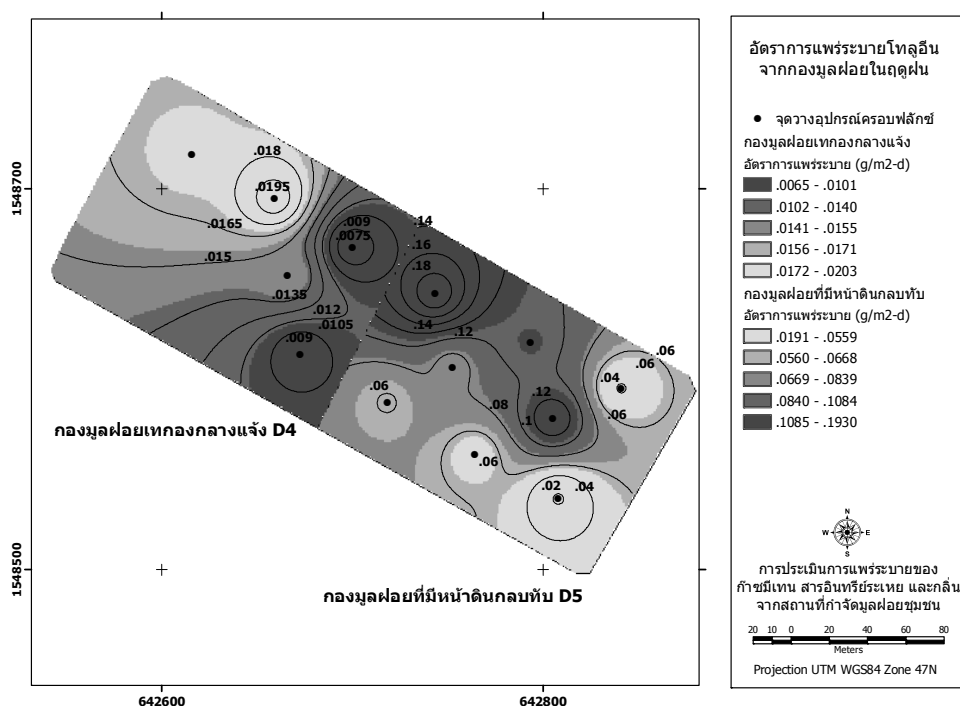


ข. ฤๅ๑๑๑

ภาพผนวกที่ ๒ อัตราการแพร่กระจายเบนขึ้นจากกองมูลฝอยในฤๅ๑๑๑และฤๅ๑๑๑

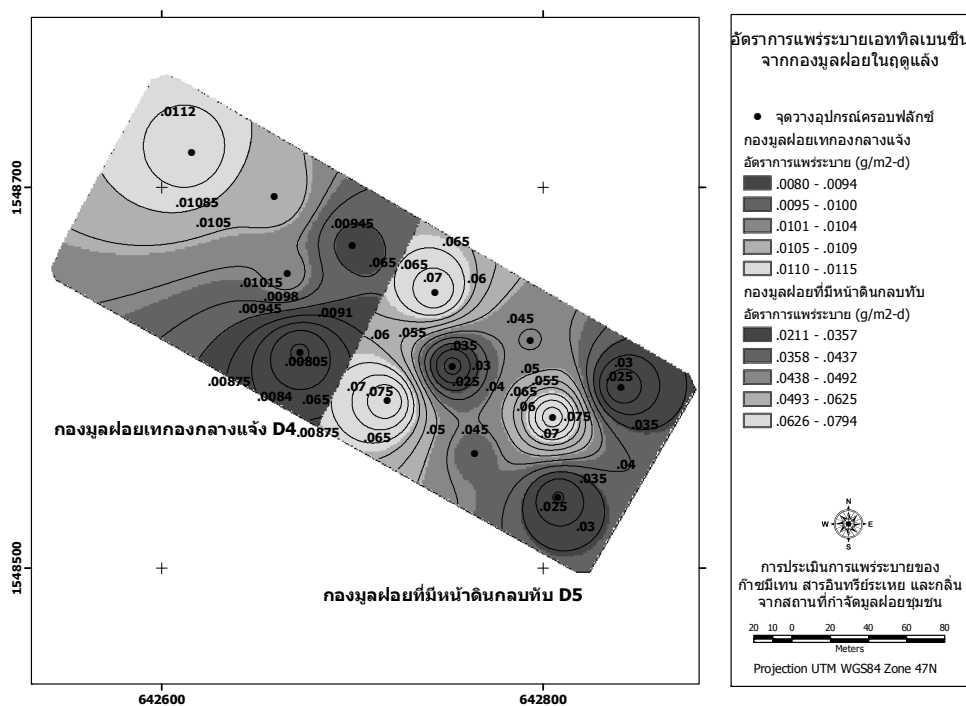


ก. ฤดูแล้ง

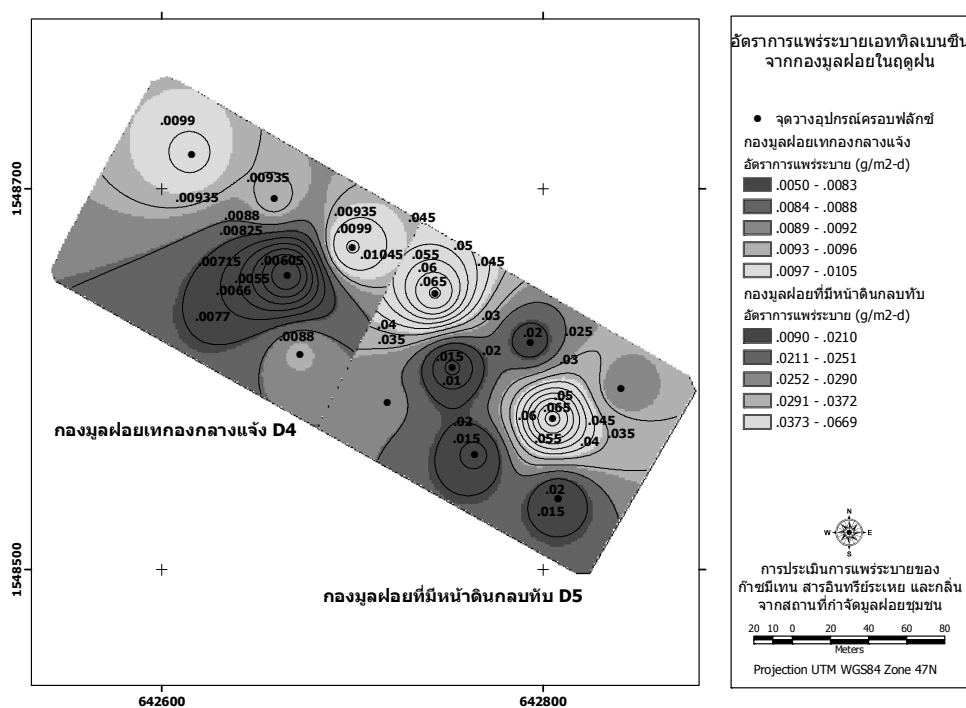


ข. ฤดูฝน

ภาพผนวกที่ 3 อัตราการแพร่กระจายไฮดรอลิกจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน

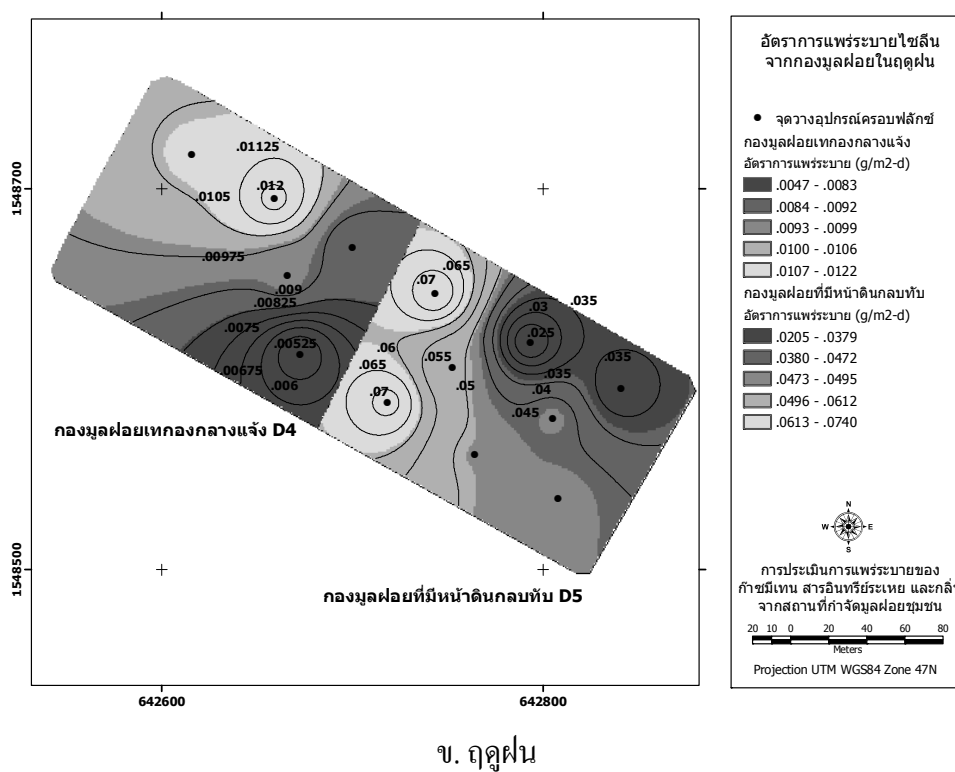
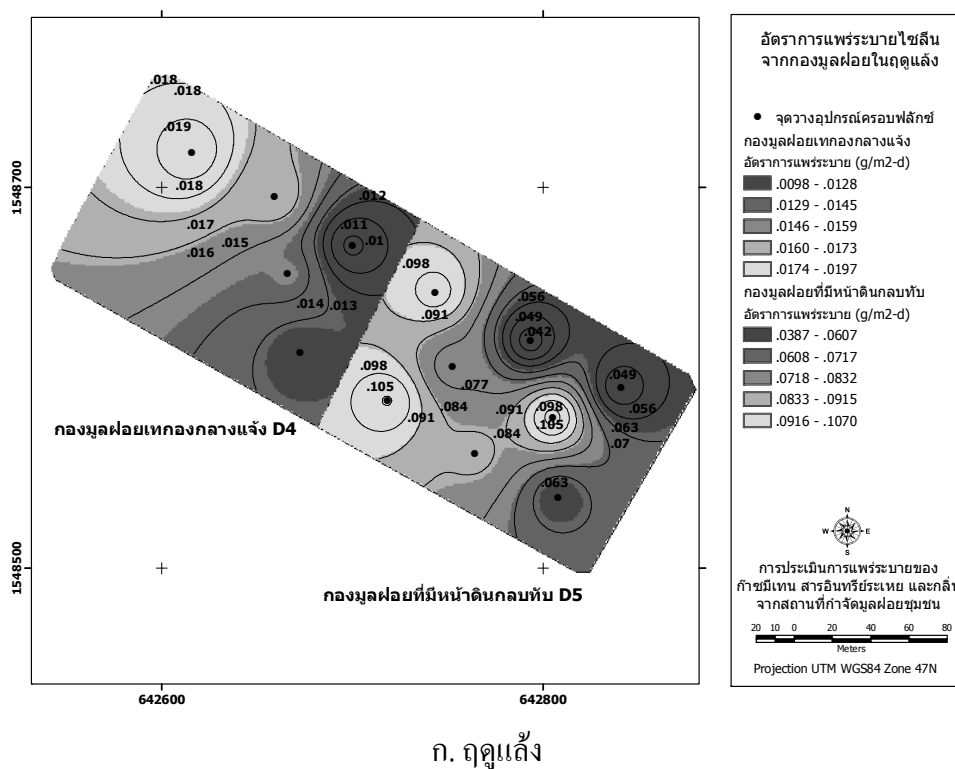


ก. ฤดูแล้ง

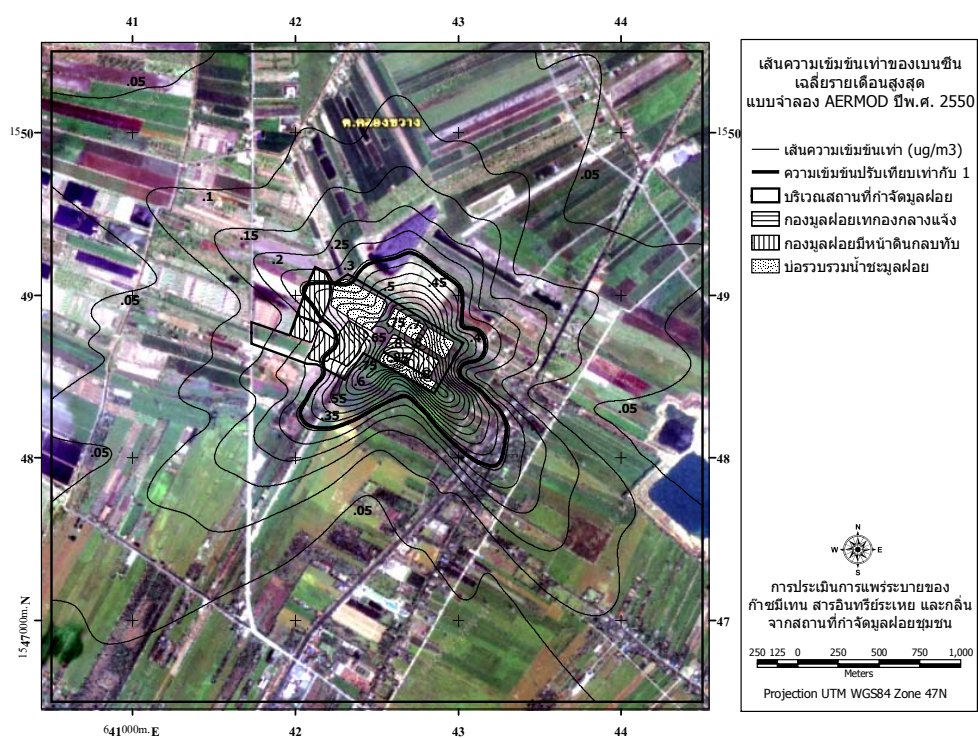


ข. ฤดูฝน

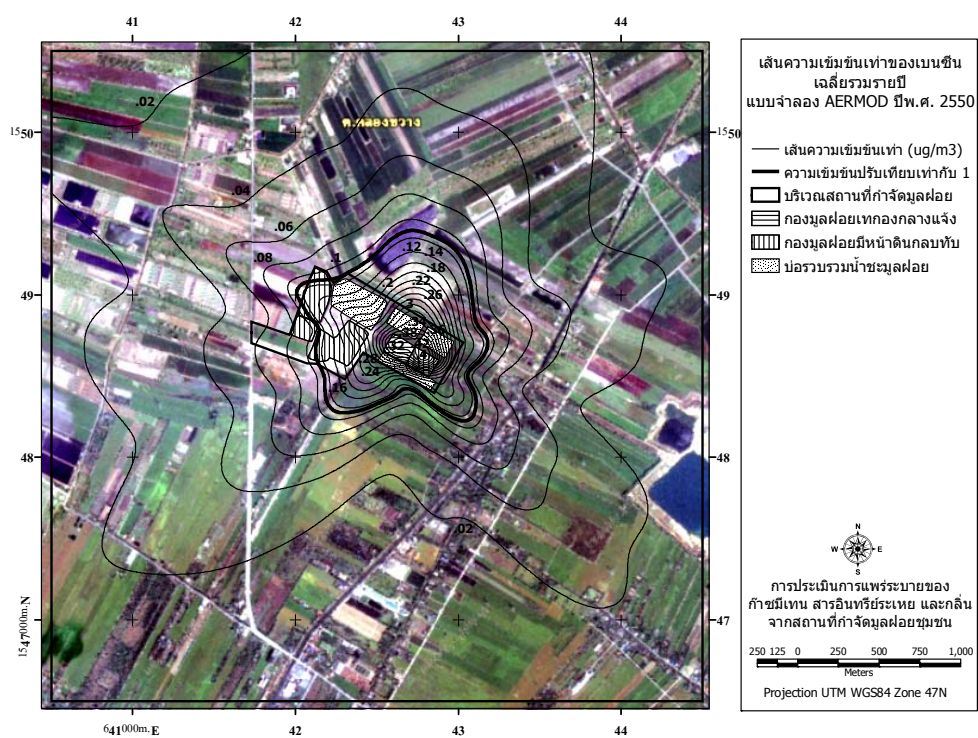
ภาพผนวกที่ 4 อัตราการแพร่กระจายเอทิลเบนซีนจากกองมูลฝอยในฤดูแล้งและฤดูฝน



ภาพผนวกที่ 5 อัตราค่าการแพร่กระจายไฮดรอลิกจากข้อมูลผลในฤดูแล้งและฤดูฝน

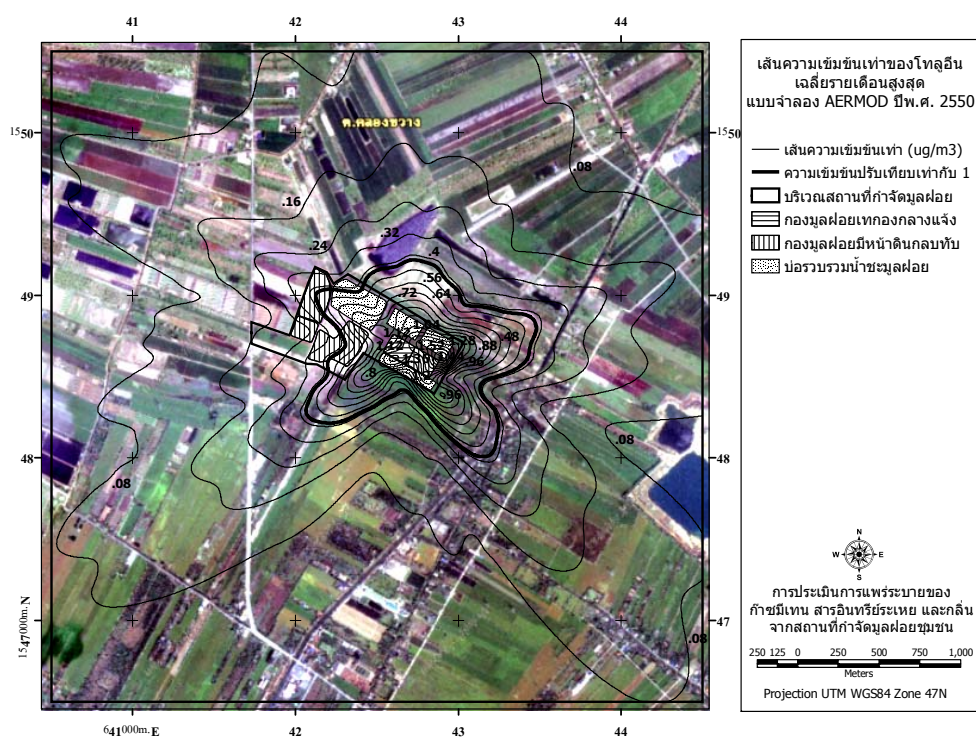


ก. ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด

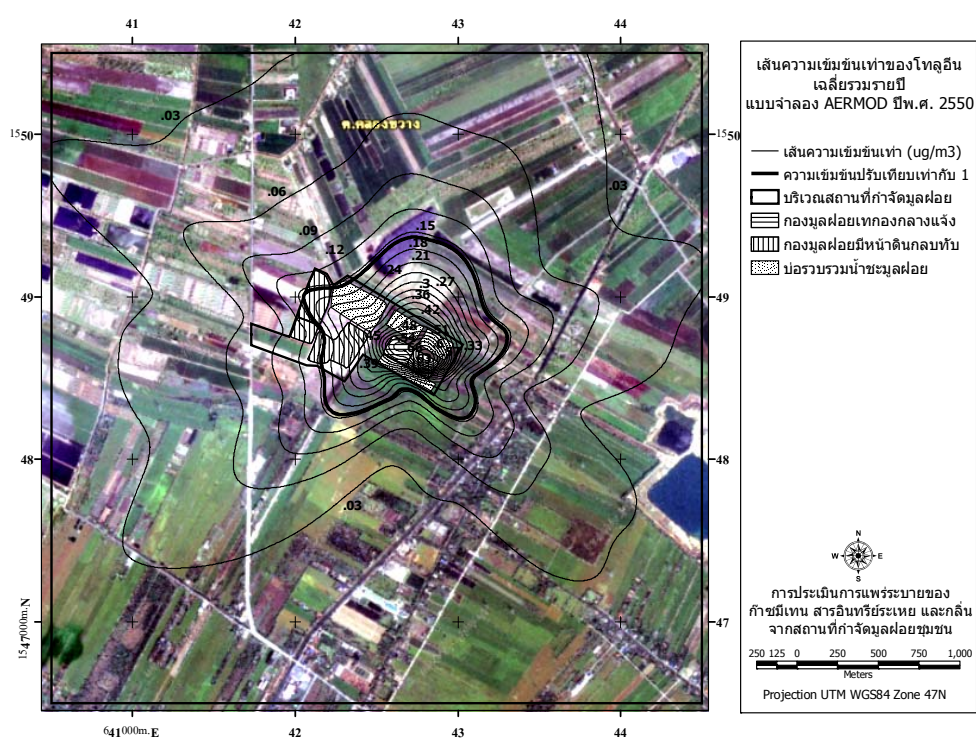


ข. ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี

ภาพผนวกที่ 36 เส้นความเข้มข้นเท่าของเบนซินจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550

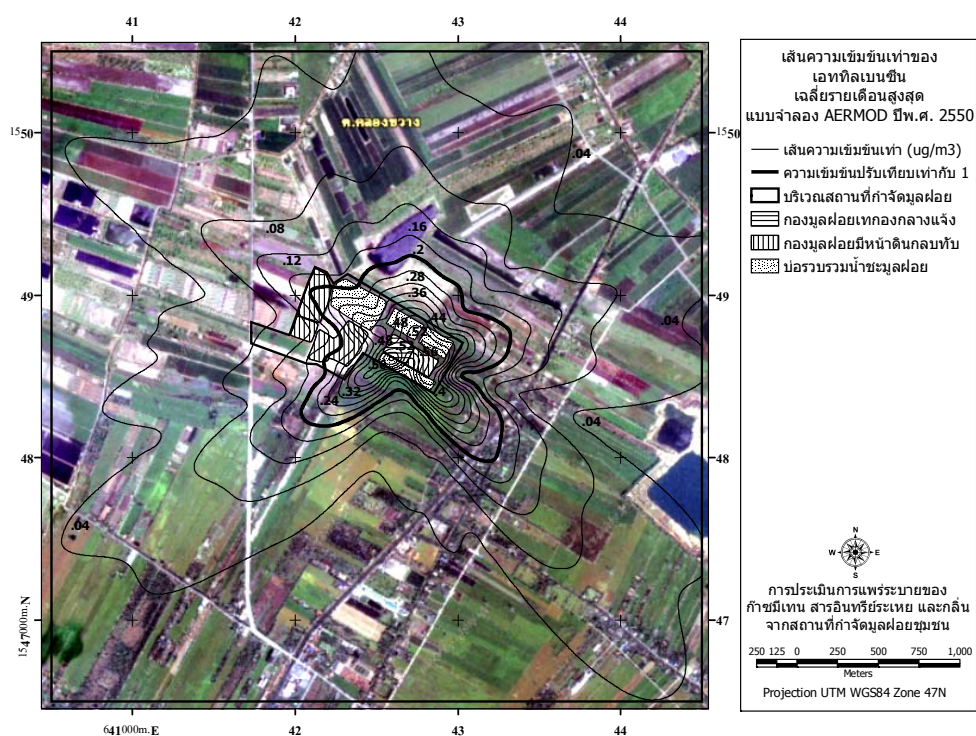


ก. ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด

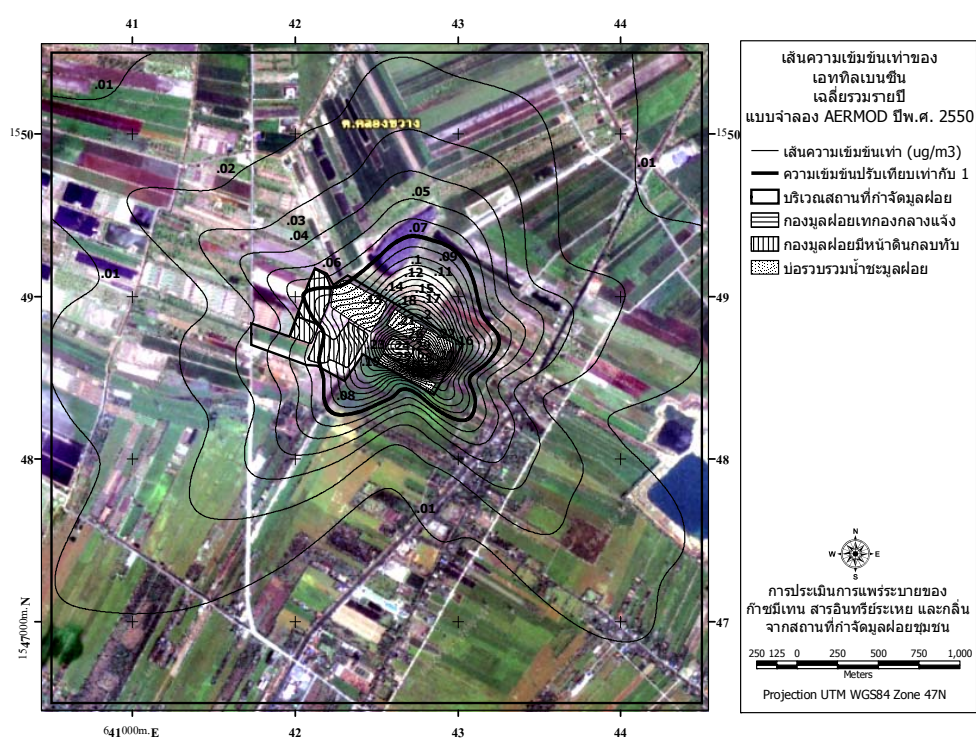


ข. ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี

ภาพผนวกที่ 7 เส้นความเข้มข้นเท่าของโกลูอินจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550

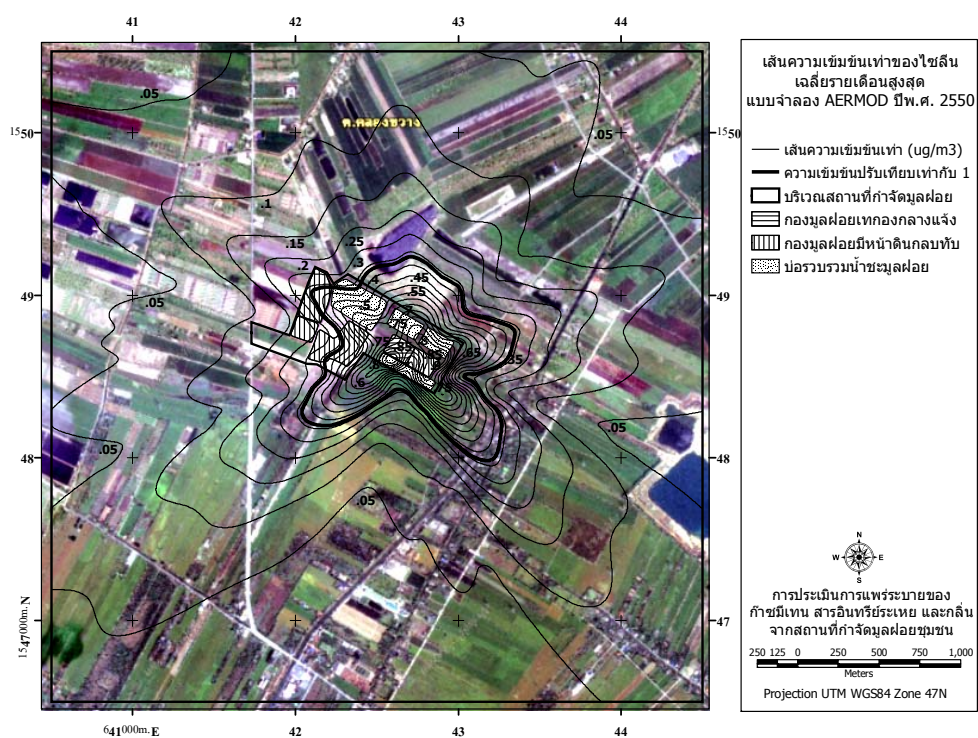


ก. ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด

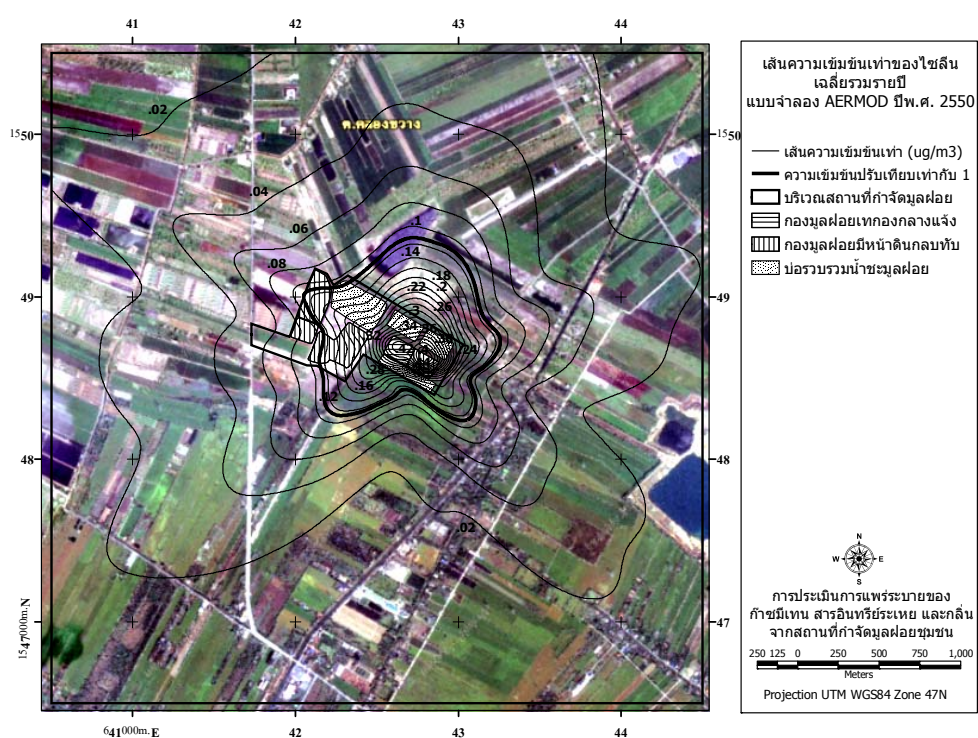


ข. ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี

ภาพผนวกที่ 8 เส้นความเข้มข้นเท่าของเอททิลเบนซีนจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550



ก. ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด



ข. ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมรายปี

ภาพผนวกที่ 9 เส้นความเข้มข้นเท่าของไซลิจากแบบจำลอง AERMOD ปี พ.ศ. 2550

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสรยุทธ ธีรโพธิ์รักษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 12 เมษายน 2523
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) เกียรตินิยมอันดับ 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ศึกษาภาวะการเป็นทะเลทรายในประเทศไทยโดยใช้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-