



การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน  
บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดพทุมธานี

A STUDY ON VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC<sub>s</sub>) IN AMBIENT AIR  
FROM MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN OPEN DUMPSITE DISPOSAL,  
PATHUM THANI PROVINCE

พิศรวค์ กล่อมเกลี้ยง

การศึกษาศาสนาอินทรีระยะเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน  
บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร  
คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

A STUDY ON VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC<sub>s</sub>) IN AMBIENT AIR  
FROM MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN OPEN DUMPSITE DISPOSAL,  
PATHUM THANI PROVINCE



PISAN KLOMKLIANG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of MASTER OF SCIENCE  
(Environmental Technology & Resources Management)  
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาศาสตร์บริหารระยะห่างในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน  
บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

ของ

พิสิรศักดิ์ กล่อมเกลี้ยง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์จัตตราชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก	..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน)	(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)
..... ที่ปรึกษาร่วม	..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ฝืนนิล)	(รองศาสตราจารย์ ดร.ทนายท ศรียาภัย)



ชื่อเรื่อง	การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี
ผู้วิจัย	พิสิรค์ กล่อมเกลี้ยง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฌนภัทร โพธิ์วัน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ ฝิวนิล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน และเพื่อประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มบีเทค (BTEXS) ได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีน (Xylenes) และสไตรีน (Styrene) ผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ โดยใช้อุปกรณ์ครอบวัดปลั๊กซันติดอยู่กับที่ (Static flux chamber) วิเคราะห์ด้วย Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) และ Gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID) ผลการวิเคราะห์และตรวจวัดพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งสิ้น 83 ชนิด โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตลอดทั้งวัน ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ซึ่งเรียงลำดับความเข้มข้นจากมากไปน้อย ดังนี้ โทลูอีน (Toluene)  $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride:  $\text{CCl}_4$ )  $1,248.40 \pm 825.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน (n-Nonane)  $1,229.72 \pm 424.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene: TCE)  $1,144.63 \pm 913.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และไอโซพรีน (Isoprene)  $1,135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ อีกทั้งยังพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเวลา 1 ปี และในบรรยากาศเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่ เบนซีน (Benzene) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) 1,2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) และ 1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene) และผลจากการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทคผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ พบว่าค่าความเสี่ยงทางสุขภาพการเกิดมะเร็งของสารเบนซีนอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ อีกทั้งความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งพบว่าการได้รับสัมผัสสารเบนซีนมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับปานกลาง ส่วนโทลูอีนเอทิลเบนซีน พารา-ไซลีน และสไตรีน มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ และออร์โธ-ไซลีน ไม่มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามค่าดัชนีความเสี่ยงรวม (Hazards index: HI) ในเพศชายเท่ากับ 2.46 และในเพศหญิง 3.41 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงของ US EPA จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้เกี่ยวข้องจะต้องตระหนักถึงผลกระทบต่าง ๆ และดำเนินมาตรการป้องกันและติดตามอย่างเหมาะสม เพื่อให้แน่ใจว่า แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนมีความปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และยั่งยืน สิ่งสำคัญคือต้องให้ความสำคัญกับความปลอดภัยและความยั่งยืนในการจัดการของเสีย เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีต่อสุขภาพสำหรับคนรุ่นปัจจุบันและอนาคต

คำสำคัญ : สารอินทรีย์ระเหยง่าย, ขยะมูลฝอยชุมชน, สถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง, การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Title	A STUDY ON VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC <sub>s</sub> ) IN AMBIENT AIR FROM MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN OPEN DUMPSITE DISPOSAL, PATHUM THANI PROVINCE
Author	PISAN KLOMKLIANG
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Naphat Phowan
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Onanong Phewnil

The purpose of the research is to measure volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere from the municipal solid waste management process of an open dumpsite disposal. They are harmful to both human health and the environment, and to assess the health risks of VOCs exposed to BTEXS (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes and Styrene) via inhalation. The analysis was conducted using a Static flux chamber and analyzed by Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and Gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID). The results showed that the all-day average concentration of 83 VOCs were as follows: Toluene ( $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Carbon tetrachloride:  $\text{CCl}_4$  ( $1,248.40 \pm 825.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), n-Nonane ( $1,229.72 \pm 424.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Trichloroethylene: TCE ( $1,144.63 \pm 913.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), and Isoprene ( $1,135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), respectively. The predominant average concentration of VOCs, included Benzene, 1,2-Dichloroethane, Trichloroethylene, 1,2-Dichloropropane, Tetrachloroethylene, and 1,3-Butadiene, which exceeded the concentration monitoring guideline standard criteria for both ambient annual one year and 24-hour measurements. The risk assessment of inhalation exposure to BTEXS revealed that the carcinogenic risk associated with benzene was found to be at an acceptable level. Furthermore, the non-carcinogenic risks associated with Benzene were determined to be at a moderate level, while the risks associated with Toluene, Ethylbenzene, p-Xylene, and Styrene were at a low level. The assessment also indicated that o-Xylene did not pose any harmful risks to health upon exposure. However, the hazard index for this exposure scenario was calculated to be 2.46 in males and 3.41 in females. These values exceeded the acceptable risk levels established by the United States Environmental Protection Agency (US EPA). It is crucial for those involved to be aware of the various effects and take appropriate prevention and monitoring measures. This is necessary to ensure that municipal solid waste management practices are safe, efficient, and sustainable. It is important to prioritize safety and sustainability in waste management to create a healthy and sustainable living environment for present and future generations.

Keyword : Volatile organic compounds, Municipal solid waste, Open dumpsite disposal, Health risk assessment

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง "การศึกษาศาสนาอินทรีระยะห่างในบรรยากาศ จากกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี" สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาผู้มีสมรรถนะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีการศึกษา 2565

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปริญญานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาดูแลเอาใจใส่ติดตาม ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนใจคำปรึกษาและกำลังใจ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ที่ได้กรุณาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิและประธานการสอบปริญญานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ทนายาท ศรียาภักย์ กรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำในการปรับปรุงปริญญานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนการให้ข้อสังเกต ข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งให้มีความครบถ้วนครอบคลุมตามวัตถุประสงค์และเนื้อหา เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้เกิดความสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนุช ใจแก้ว ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าพื้นที่ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง

ขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ที่ให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้และให้ความสนับสนุนด้านต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดาและมารดา นายภักดิ์วัฒน์ วัลย์ใจ นายรัชชานนท์ ดิษเจริญ และนางสาวเกวลิ ทองซึ้ง ตลอดจนกัลยาณมิตรที่เป็นกำลังใจสำคัญให้ผู้วิจัยมุ่งมั่น อดทน ในการฝ่าฟันอุปสรรคต่าง ๆ จึงขอมอบความยินดีที่ปริญญานิพนธ์นี้เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยและผู้ศึกษาต่อในอนาคต

พิสรวรค์ กล่อมเกลี้ยง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูปภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ภูมิหลัง .....	1
2. ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
3. ความสำคัญของการวิจัย .....	4
4. ขอบเขตของการวิจัย .....	4
5. นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
6. กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	7
1. แนวคิดเกี่ยวกับขยะมูลฝอยชุมชน.....	7
2. สถานการณ์เกี่ยวกับขยะมูลฝอยในประเทศไทย .....	15
3. การกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง .....	19
4. มลพิษทางสิ่งแวดล้อม.....	23
5. สารอินทรีย์ระเหยง่าย.....	28
6. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ .....	54
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	67

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	75
1. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา .....	75
2. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	77
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	92
ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชน.....	92
ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยา บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง.....	94
ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ.....	95
ส่วนที่ 4 ผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทค (BTEXS) ผ่านการรับสัมผัส ทางการหายใจ.....	114
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	118
1. สรุปผลการวิจัย.....	118
2. อภิปรายผลการวิจัย.....	120
3. ข้อเสนอแนะ.....	131
บรรณานุกรม .....	133
ภาคผนวก ก เอกสารจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ .....	140
ภาคผนวก ข เอกสารประกอบการดำเนินการวิจัย.....	144
ภาคผนวก ค ตัวอย่างภาพการดำเนินการวิจัย.....	148
ประวัติผู้เขียน.....	154

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 อายุในชั้นบรรยากาศและลักษณะแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย .....	33
ตาราง 2 จุดเดือดสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด.....	34
ตาราง 3 ตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่ไม่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ....	37
ตาราง 4 ตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ.....	38
ตาราง 5 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการสัมผัสสารกลุ่ม BTEXS .....	45
ตาราง 6 จำแนกความสามารถในการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองของสารกลุ่ม BTEXS ..	46
ตาราง 7 ค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไป .....	47
ตาราง 8 ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นสารก่อมะเร็งและส่งเสริมการเกิดเนื้องอก .....	51
ตาราง 9 ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อ และอันตรายต่อสุขภาพ .....	52
ตาราง 10 ค่าคงที่สำหรับการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารมลพิษผ่านการหายใจ ....	60
ตาราง 11 Slope factor (SF) และค่า Reference concentration ( $R_fC$ ) ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ชนิดต่าง ๆ โดยมีเส้นทางการสัมผัสผ่านการหายใจ .....	62
ตาราง 12 การจำแนกกลุ่มของสารก่อมะเร็งของ IARC .....	65
ตาราง 13 ตัวอย่างของสารที่มีรายงานการก่อมะเร็งในกลุ่ม 1 และ 2A ของ IARC .....	65
ตาราง 14 องค์ประกอบของแก๊สต่าง ๆ ที่พบในกระบวนการจัดการขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ....	72
ตาราง 15 รายละเอียดแผนผังบริเวณพื้นที่ศึกษา บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี.....	77
ตาราง 16 อัตราการไหลของแก๊สและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย ด้วยเทคนิค GC-MS .....	85
ตาราง 17 สมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 9 ชนิดที่ทำการศึกษา .....	86
ตาราง 18 การจำแนกองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย .....	93

ตาราง 19 ข้อมูลอุตุนิยามวิทยาในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) ..... 94

ตาราง 20 ข้อมูลอุตุนิยามวิทยาในช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.)..... 95

ตาราง 21 ความเข้มข้นเฉลี่ยสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด จากตัวอย่างอากาศ บริเวณสถานที่  
กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ..... 100

ตาราง 22 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบของสารอินทรีย์  
ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี.. 113

ตาราง 23 ปริมาณการได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายและความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและ  
ไม่ก่อมะเร็ง..... 115



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย .....	6
ภาพประกอบ 2 ภาพรวมการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565.....	16
ภาพประกอบ 3 สัดส่วนสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในประเทศไทยปี พ.ศ. 2565.....	17
ภาพประกอบ 4 การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายและ Photochemical smog reaction .....	32
ภาพประกอบ 5 โครงสร้างทางเคมีของ BTEXS .....	39
ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง .....	55
ภาพประกอบ 7 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion process).....	74
ภาพประกอบ 8 บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี.....	76
ภาพประกอบ 9 แผนผังพื้นที่ศึกษา สถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี.....	76
ภาพประกอบ 10 ลักษณะการกองขยะมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย.....	78
ภาพประกอบ 11 การแบ่งขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) .....	79
ภาพประกอบ 12 การเก็บตัวอย่างอากาศจากฟลักซ์แชมเบอร์ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศเก็บตัวอย่าง อากาศผ่านถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Tedlar bag).....	81
ภาพประกอบ 13 พิกัดและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (S1-S5) บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี .....	82
ภาพประกอบ 14 การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยวิธี Surface emission isolation fluxes chamber.....	83
ภาพประกอบ 15 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากตัวอย่างอากาศ ด้วยการวิเคราะห์ GC-MS เทียบกับค่า Retention time (RT) ของฐานข้อมูล NIST .....	96
ภาพประกอบ 16 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดคาร์บอนต่ำ (C2-C6) .....	97
ภาพประกอบ 17 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดคาร์บอนสูง (C6-C12) .....	98



ภาพประกอบ 18 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละกลุ่มที่พบทั้งสองช่วงเวลา บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี .....	99
ภาพประกอบ 19 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านซ้ายพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S1) .....	106
ภาพประกอบ 20 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านขวาพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S2) .....	107
ภาพประกอบ 21 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณกึ่งกลางพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S3) .....	108
ภาพประกอบ 22 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านหน้าพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S4) .....	109
ภาพประกอบ 23 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านหลังพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S5) .....	110
ภาพประกอบ 24 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด ทุกจุดเก็บตัวอย่าง (S1-S5) ในพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย .....	112
ภาพประกอบ 25 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่มบีที่ตรวจพบในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี .....	114
ภาพประกอบ 26 การลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้น บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม จังหวัดปทุมธานี .....	149
ภาพประกอบ 27 การวิเคราะห์และจำแนกองค์ประกอบของขยะมูลฝอย บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง .....	150
ภาพประกอบ 28 การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ชนิดวางติดกับที่ (Static flux chamber) บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง .....	151
ภาพประกอบ 29 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายเชิงคุณภาพด้วย GC-MS .....	152
ภาพประกอบ 30 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากตัวอย่างอากาศในห้องปฏิบัติการผ่านเทคนิค GC-FID ด้วยเครื่อง Airmo VOCs analyzer .....	153

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ภูมิหลัง

จากสถานการณ์ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ปัญหามลพิษขยะมูลฝอยชุมชนยังคงเป็นปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ซึ่งทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่องในประเทศไทยและประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ปัญหาข้างต้นมีสาเหตุหลายปัจจัย เช่น การบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชนไม่ถูกวิธี ไม่มีการคัดแยกขยะ การลักลอบทิ้งขยะมูลฝอยชุมชนและของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร พลวัตทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี ส่งผลให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ปี ขณะที่พื้นที่ในการกำจัดขยะมูลฝอยมีไม่เพียงพอและมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยเกิดการตกค้างเพิ่มมากขึ้น จากรายงานสถานการณ์ปัญหาขยะมูลฝอยในปี พ.ศ. 2565 พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้น มีทั้งสิ้น 25.70 ล้านตัน มีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยทั่วประเทศ 2,074 แห่ง แบ่งออกเป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ต้องทำตามหลักสุขาภิบาล 111 แห่ง (ร้อยละ 5.35) และสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล 1,963 แห่ง (ร้อยละ 94.64) ทั้งนี้บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนมลพิษจากบริเวณแหล่งกำเนิดแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งมลพิษทางด้านดิน น้ำ และอากาศ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2565)

สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในประเทศไทยส่วนใหญ่ เป็นรูปแบบการเทกองกลางแจ้ง (Open dumping) มากถึง 1,767 แห่ง (ร้อยละ 90) ซึ่งถือเป็นรูปแบบหลักที่ได้รับความสนใจและมีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นรูปแบบที่สามารถดำเนินการได้ง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ รองรับขยะมูลฝอยชุมชนในปริมาณมากและกำจัดขยะมูลฝอยได้หลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการกำจัดขยะแบบเทกอง ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดความเสื่อมโทรม เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค และเกิดการปนเปื้อนมลพิษสู่แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน นอกจากนี้สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยข้างต้น มีการปลดปล่อยแก๊สอันตรายและแก๊สเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และซัลไฟด์ เป็นต้น (Chiemchaisri, Chiemchaisri, Kumar, & Hettiaratchi, 2007) ทั้งนี้ขยะมูลฝอยในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งมีการปลดปล่อยสารที่สำคัญ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds: VOCs) เป็นสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ระเหยเป็นไอได้ง่าย มีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

อาจเกิดขึ้นได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพเป็นระยะเวลาสั้น ซึ่งมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล (Photochemical reaction) เช่น สารประกอบกลุ่มแอลกอฮอล์ สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน สารประกอบกลุ่มฮาโลเจน และสารอื่น ๆ (Schultz, Shriver, & Tabanico, 2004; United States Environmental Protection Agency, 2016; สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555) เมื่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้ถูกปลดปล่อยและเกิดการแขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีจับกลุ่มหรือรวมตัวกับออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดผลิตภัณฑ์ละอองลอยทุติยภูมิ (Secondary organic aerosol: SOA) และไอโซนที่ระดับใกล้ผิวดิน ซึ่งอาจทำปฏิกิริยากับสารกลุ่มออกไซด์อื่น ๆ หรือสารที่มีสถานะเป็นแก๊สในชั้นบรรยากาศ ควบแน่นเป็นละอองลอยทุติยภูมิหรืออนุภาคขนาดเล็กได้เช่นกัน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเป็นตัวพาสารพิษเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดอันตรายและส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Andreae, 1997)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถเกิดได้จากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกิจกรรมของมนุษย์ จากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แม้ว่าการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีสัดส่วนน้อยกว่า 1% ของแก๊สทั้งหมดในบรรยากาศ แต่จัดเป็นสารมลพิษที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุขมีการจัดกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามระดับความรุนแรงต่อสุขภาพ เช่น กลุ่มสารที่ทำให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ ระคายเคืองต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ กลุ่มสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตของระบบการทำงานของร่างกายทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง หรือกลุ่มสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายส่วนใหญ่อาจตกค้างและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย อย่างไรก็ตามกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่สำคัญกลุ่มหนึ่งคือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทค (BTEXS) ได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีน (Xylenes) และ สไตรีน (Styrene) อีกทั้งสารกลุ่มนี้ยังส่งผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์ให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว เกิดความผิดปกติของอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ และไต (Chen, Chaudhary, & Mathys, 2019; Marganda & Ashar, 2018) จึงจำเป็นในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารกลุ่มนี้ มีเป้าหมายคือ เพื่อให้ทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง และสามารถนำข้อมูลที่ได้เสนอเป็นแนวทางและนโยบายต่อผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับจัดการสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ให้มีการควบคุมและลดปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้น เพื่อลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน

ในประเทศไทยจังหวัดปทุมธานี เป็นพื้นที่ที่มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว เป็นแหล่งรองรับฐานการผลิตภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพสังคม จากสังคมชนบทได้กลายเป็นสังคมเมืองในปัจจุบัน จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในพื้นที่ ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ตามมา โดยเฉพาะปัญหาขยะมูลฝอย มลพิษ และสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ อาทิ ปัญหาการไม่คัดแยกขยะมูลฝอย การเก็บขนขยะมูลฝอย การรวบรวมขยะมูลฝอย และการกำจัดที่ไม่สามารถจัดการขยะมูลฝอย ถูกหลักสุขาภิบาลได้อย่างยั่งยืน ทั้งนี้กระบวนการจัดการข้างต้นยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างมาก (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดปทุมธานี, 2562)

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของปัญหามลพิษจากการจัดการขยะมูลฝอย ที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนมลพิษในอากาศ โดยเฉพาะการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือกพื้นที่จังหวัดปทุมธานีเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากประชาชนในพื้นที่มักร้องเรียนปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย โดยเฉพาะปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านสุขภาพและกลิ่นไม่พึงประสงค์บ่อยครั้ง อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาวิจัยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนในบริเวณพื้นที่ข้างต้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจและใช้เป็นแผน กลยุทธ์ หรือนโยบายในการหาแนวทางการป้องกัน เพื่อลดการเกิดปัญหามลพิษด้านอากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน พร้อมทั้งเสนอแนวทางหรือวิธีการกำจัดที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถจัดการขยะมูลฝอยชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน

## 2. ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

2.1 เพื่อตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน

2.2 เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสผิวดังสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มปีเทค ผ่านการสัมผัสผิวดังการหายใจ

### 3. ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษาวิจัยหัวข้อ การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน จังหวัดปทุมธานี ที่ส่งผลกระทบต่อชนิดและปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ อีกทั้งความอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสุขภาพของประชาชนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นองค์ความรู้ในการวางแผน ปรับปรุง และเสนอแนวทางป้องกัน และแก้ไขปัญหามลพิษปนเปื้อนในอากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง เพื่อลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

### 4. ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ ทำการศึกษาในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยศึกษารูปแบบและกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน เพื่อจำแนกปริมาณความหนาแน่น และองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชน โดยเฉพาะการเกิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากขั้นตอนหรือกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อาจส่งกลิ่นเหม็นเป็นประจําอย่างต่อเนื่อง และเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อศึกษาชนิดและปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากนั้นจำแนกกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายและแหล่งกำเนิด และทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านทางหายใจ เพื่อบ่งชี้ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากการเกิดมะเร็ง พร้อมทั้งเสนอแนวทางการป้องกันและลดการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายในสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง

### 5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 การจัดการขยะมูลฝอย (Solid waste management) หมายถึง กระบวนการคัดแยก การเก็บขน และการนำขยะมูลฝอยไปกำจัด โดยการจัดการขยะมูลฝอยเป็นหน้าที่ที่ทุกภาคส่วนต้องมีความรับผิดชอบร่วมกัน โดยเฉพาะหน่วยงานของรัฐที่ต้องมีบทบาทหลักในการดำเนินการ

5.2 ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste) หมายถึง สิ่งของต่าง ๆ ที่เหลือใช้จากกิจกรรมการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ในชุมชน เช่น เศษอาหาร ถูพลาสติก เศษผ้า ภาชนะใส่อาหาร หรือสิ่งของที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้ใช้งาน เนื่องด้วยเหตุผลต่าง ๆ ที่ทำให้สิ่งเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นสิ่งของที่ไร้คุณค่า และไม่เป็นที่ประโยชน์ในการดำรงชีวิต

5.3 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound) หมายถึง กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยหรือมีความผันผวนกระจายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีสถานะเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

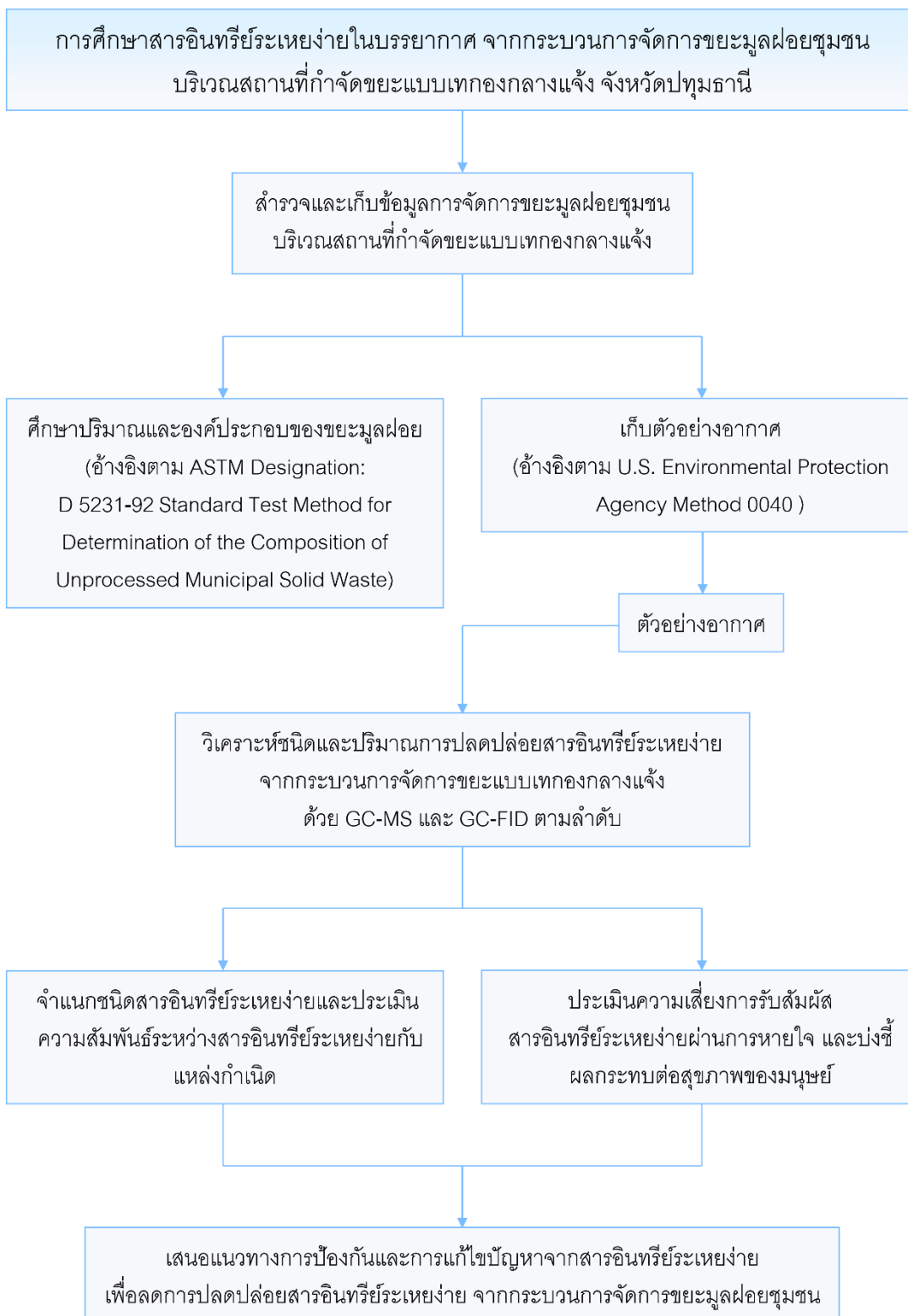
5.4 การกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง (Open dumping disposal) หมายถึง การเทกองขยะมูลฝอยลงบนพื้นที่โดยไม่มีการควบคุม มีกิจกรรมการบำบัดขยะมูลฝอยจนได้ระดับความสูงที่กำหนดและไม่มีมาตรการใด ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการระบายหรือการปลดปล่อยสารมลพิษที่ปนเปื้อนออกจากสถานที่กำจัดมูลฝอยออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำ และอากาศ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยในงานวิจัยนี้หมายถึง การกำจัดขยะในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

5.5 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment) หมายถึง การประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดความเสียหาย หรือโอกาสการสัมผัสสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งคุกคามต่อสุขภาพอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมกัน โดยในงานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มบีเทค ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน ไซลีน เอทิลเบนซีน และสไตรีน ทั้งชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ

## 6. กรอบแนวคิดในงานวิจัย

การศึกษาด้านสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี มีแนวคิดในการศึกษา แสดงดังภาพประกอบ 1





ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

## บทที่ 2

### บททวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. แนวคิดเกี่ยวกับขยะมูลฝอยชุมชน
2. สถานการณ์เกี่ยวกับขยะมูลฝอยในประเทศไทย
3. การกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง
4. มลพิษทางสิ่งแวดล้อม
5. สารอินทรีย์ระเหยง่าย
6. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. แนวคิดเกี่ยวกับขยะมูลฝอยชุมชน

คำจำกัดความของขยะมูลฝอย (Solid waste) เป็นคำที่มีผู้นิยามไว้มากซึ่งมีความหมายกว้างขวางและยืดถือเป็นทางการ ดังต่อไปนี้

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2524) ได้ให้ความหมายของคำว่า ของเสีย หมายความว่า สิ่งปฏิกูล มลพิษหรือของเสียทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดิน น้ำ และอากาศ อาจถูกปล่อยทิ้งหรือมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ เป็นวัสดุหรือสิ่งของที่ไม่เป็นที่ต้องการและไม่มีประโยชน์อีกต่อไป อาจเป็นสิ่งที่สามารถเกิดการย่อยสลายหรือไม่เกิดการย่อยสลาย ครอบคลุมวัสดุประเภทต่าง ๆ ทั้งชนิดที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ขยะในครัวเรือน ขยะเชิงพาณิชย์ ขยะอุตสาหกรรม ขยะจากการก่อสร้างและการรื้อถอน ขยะจากการเกษตร และอื่น ๆ ขยะมูลฝอยอาจรวมถึงวัสดุที่มีความเป็นอันตรายและไม่เป็นอันตราย โดยแหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอยที่แตกต่างกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดประเภทครัวเรือนหรือที่อยู่อาศัย เขตชุมชน สำนักงาน โรงเรียน ตลาด และโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้น สิ่งปฏิกูลของมนุษย์ที่เกิดจากการขับถ่ายของเสียไม่นับเป็นขยะมูลฝอย อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วขยะมูลฝอยถือเป็นของเสียที่ไม่มีประโยชน์อีกต่อไป และต้องมีการจัดการและกำจัดอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันวิทยาการและเทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้า



จำนวนประชากรเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุให้เศษวัสดุและสิ่งของเหลือใช้มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากขึ้นด้วย

ราชบัณฑิตยสถาน (2525) ได้ให้ความหมายของคำว่า ขยะ หมายถึง สิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากและเยื่อมูลฝอย อีกทั้งให้ความหมายคำว่า มูลฝอย หมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว สิ่งของที่ไร้ประโยชน์สำหรับผู้ทิ้ง หยากเยื่อ คำสองคำนี้มีความหมายเดียวกัน สามารถใช้ทดแทนกันได้ หรือสามารถเรียกรวมกันว่า “ขยะมูลฝอย”

สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา (2535) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า ขยะมูลฝอย หมายถึง เศษขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ เช่น ผักผลไม้ ซากพืชและซากสัตว์ เศษขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือย่อยสลายได้ยาก เช่น เศษผ้า พลาสติก โลหะ และแก้ว รวมถึงเศษวัสดุที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด หรือสถานที่อื่น ๆ

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2543) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า ขยะมูลฝอย หมายถึง วัสดุหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการดำเนินชีวิตหรือกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยเป็นสิ่งของเหลือทิ้ง ไม่เป็นที่ต้องการอีกต่อไป ขยะมูลฝอยอาจมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแหล่งกำเนิด วิถีชีวิต ลักษณะภูมิประเทศ วัฒนธรรมและประเพณี หรือสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างกัน

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2547) ได้ให้ความหมายของคำว่า ขยะมูลฝอย หมายถึง เป็นวัสดุที่ไม่มีผู้ใดต้องการ เช่น เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก เครื่องใช้ที่ชำรุด เสื้อผ้าเก่า ภาชนะที่ใส่อาหาร ขยะอันตรายจากครัวเรือนหรือชุมชนที่ไม่ใช้แล้ว อาจมีความขึ้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะมีองค์ประกอบแตกต่างกันตามลักษณะของแหล่งกำเนิด เช่น ครัวเรือน สถานศึกษา สถานประกอบการ ตลาด โดยปกติแล้วขยะมูลฝอยที่นำมาทิ้งจะมีทั้งสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้และอนินทรีย์สาร ยกเว้นของเสียเหลือทิ้ง ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานอุตสาหกรรม ขยะมูลฝอยจากอุตสาหกรรมจะมีลักษณะขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรมแตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังมีขยะมูลฝอยอีกประเภทหนึ่งเป็นขยะมูลฝอยที่ถูกทิ้งไว้ตามถนน แม่น้ำ คลอง และตามสถานที่สาธารณะต่าง ๆ เช่น ใบไม้ เศษกระดาษ ถุงพลาสติก ดิน หิน กรวด และทราย เป็นต้น ขยะมูลฝอยประเภทนี้แม้จะมีส่วนก่อเหตุรำคาญน้อยกว่าขยะมูลฝอยที่กล่าวแล้วมานั้น แต่ก็ยังเป็นภาระแก่ผู้เก็บกวาด ทั้งนี้เพราะขยะมูลฝอยเกิดการกระจายกระจายอยู่ในบริเวณกว้าง ทำให้กระบวนการหรือขั้นตอนการเก็บขน

เกิดความซับซ้อน ยุ่งยาก และอาจเก็บขนขยะมูลฝอยได้ไม่ทั่วถึงตามกำหนด จนเกิดการตกค้างของขยะมูลฝอย และก่อให้เกิดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อมตามมา

ขยะหรือขยะมูลฝอย (Solid waste) นักวิชาการได้ให้ความหมายไว้ใกล้เคียงกัน ดังนี้

อาณัติ ต๊ะปิ่นตา (2553) ได้ให้ความหมายของ ขยะมูลฝอย หมายถึง เป็นเศษสิ่งของเหลือทิ้งโดยไม่มีความจำเป็นต่อการใช้งานอีกต่อไป ด้วยเหตุผลและความจำเป็นบางประการของผู้ใช้งาน ซึ่งทำให้สิ่งของหรือวัสดุเหล่านั้นกลายเป็นสิ่งของที่ไม่มีประโยชน์และหมดคุณค่าต่อการดำเนินชีวิต ซึ่งได้นำสิ่งของเหล่านั้นทิ้งไว้ตามสถานที่ต่าง ๆ หรือทิ้งลงในภาชนะจัดเก็บขยะมูลฝอย

สุรารักษ์ ขาวอิน (2556) ได้ให้ความหมายของ ขยะมูลฝอย หมายถึง เป็นเศษหรือวัสดุเหลือทิ้ง จากกระบวนการการดำเนินชีวิตของมนุษย์ การผลิต และการค้าขาย องค์ประกอบและประเภทของขยะที่มีลักษณะแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย ส่วนใหญ่เป็นขยะอินทรีย์ จำพวกเศษอาหาร และเศษสิ่งของที่ไม่ได้ใช้งาน เป็นต้น

### 1.1 ประเภทของขยะมูลฝอย

ธเนศ ศรีสถิต (2553) ระบุว่า ชนิดและประเภทของขยะมูลฝอย มีวิธีการจำแนกองค์ประกอบหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับผู้จำแนกว่าจะใช้เกณฑ์หรือวิธีการจำแนก ได้แก่ จำแนกตามองค์ประกอบ จำแนกตามวิธีมาตรฐาน จำแนกตามชนิดการนำไปใช้ประโยชน์ และจำแนกตามความเป็นพิษอันตราย การระบุชนิดและประเภทของขยะมูลฝอย แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- 1) ขยะมูลฝอยที่เกิดการเน่าเปื่อยย่อยสลายได้ง่าย (Food waste)
- 2) ขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้เลย (Rubbish)
- 3) ขยะมูลฝอยที่มีความเสี่ยงอันตรายหรือสารเคมี (Hazardous waste or Chemical waste)

กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2554) ระบุว่า ประเภทของขยะมูลฝอยชุมชน สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) ขยะย่อยสลายได้ (Compostable waste) หรือ ขยะมูลฝอยที่สามารถเกิดการย่อยสลายได้ ขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายอย่างรวดเร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ย สารปรับปรุงดิน หรือน้ำหมักชีวภาพ เช่น เศษผักผลไม้ เศษอาหาร เศษใบไม้ และเศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น

2) ขยะรีไซเคิล (Recyclable waste) หรือ ขยะมูลฝอยที่ยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่หรือของเสียจำพวกบรรจุภัณฑ์ เช่น ภาชนะพลาสติกใส่อาหาร กระดาษ แก้ว จาน เศษพลาสติก ก่องเครื่องตีแบบยูเอชที กระจังน้ำอัดลม เศษผ้า เหล็ก และยางรถยนต์ เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการแปรรูปและนำกลับมาใช้ใหม่ อาจแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดิมหรือเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่

3) ขยะอันตราย (Hazardous waste) หรือ ขยะมูลฝอยอันตราย คือ ของเสียที่มีคุณสมบัติที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ของเสียเหล่านี้มักมีลักษณะที่เป็นพิษ กัดกร่อน ติดไฟ หรือทำปฏิกิริยาได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเจ็บป่วย การบาดเจ็บหรือความเสียหายได้ หากไม่ได้รับการจัดการและกำจัดอย่างเหมาะสม ของเสียอันตรายสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายแหล่ง รวมถึงกระบวนการทางอุตสาหกรรม กระบวนการผลิต สถานพยาบาล ห้องปฏิบัติการ และครัวเรือน ซึ่งอาจรวมถึงสารต่าง ๆ เช่น สารเคมี ซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยาฆ่าแมลง โลหะหนัก วัสดุกัมมันตภาพรังสี และของเสียทางการแพทย์บางประเภท เป็นต้น

4) ขยะทั่วไป (General waste) หรือ ขยะมูลฝอยทั่วไป คือ ขยะในชีวิตประจำวันที่เกิดจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ เช่น แหล่งกำเนิดจากครัวเรือน สถานศึกษา ตลาด และสถานที่สาธารณะ ประกอบด้วยวัสดุที่มักทิ้งและไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เช่น บรรจุภัณฑ์พลาสติก ถุงพลาสติกเปื้อนเศษอาหาร พลาสติกห่อลูกอม สิ่งทอ ถุงวิบวับ และของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2552) สรุปประเภทของขยะมูลฝอยเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) ขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ (Compostable waste) คือ ขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลาอันรวดเร็วด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ขยะประเภทนี้มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์บางครั้งเรียกว่าขยะอินทรีย์ (Organics waste) บางครั้งอาจเรียกว่า ขยะเปียก (Garbage) เช่น เศษอาหาร เศษวัสดุ และเศษพืชผักผลไม้ เป็นต้น ขยะประเภทนี้เหมาะสำหรับการกำจัดโดยการนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักหรือน้ำหมักชีวภาพ และเป็นขยะมูลฝอยที่พบปริมาณมากที่สุด ร้อยละ 64 จากองค์ประกอบขยะมูลฝอยทั้งหมดในถังขยะ

2) ขยะมูลฝอยที่ยังใช้ได้หรือขยะมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาแปรรูปหรือแปลงสภาพกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ หรือนิยมเรียกว่า ขยะรีไซเคิล (Recycle) เช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กล่องนม ขวดพลาสติก กระป๋อง กระดาษ ถุงพลาสติก ยางรถยนต์ และขวดแก้ว เป็นต้น ขยะมูลฝอยประเภทนี้พบมากเป็นลำดับที่สองรองจากขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ สำหรับภาชนะที่ถูกล้างมาแปรรูป ต้องผ่านการล้างทำความสะอาด โดยปราศจากเศษอาหารและคราบไขมัน พบปริมาณประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณขยะทั้งหมดจากกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยชุมชน

3) ขยะทั่วไป (General waste) หรือขยะมูลฝอยทั่วไป คือ ขยะประเภทอื่นนอกเหนือจากการแบ่งประเภทขยะย่อยสลายได้ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย เป็นขยะที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ และไม่คุ้มค่าต่อการนำกลับมาใช้ซ้ำหรือใช้ใหม่ เช่น พลาสติกห่อลูกอม ถุงวิบวับ ซองบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โฟมเป็นอนหาร ถุงพลาสติก เป็นอนหาร และอื่น ๆ ขยะประเภทนี้จะพบมากที่สุดเพียงร้อยละ 3 ของปริมาณขยะทั้งหมดในภาชนะรองรับขยะมูลฝอย

4) ขยะอันตราย (Hazardous waste) หรือขยะมูลฝอยที่มีความเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการสัมผัสหรือการกำจัดไม่ถูกวิธี เช่น สารเคมีไวไฟ วัตถุระเบิด สารออกซิไดส์ และวัตถุมีพิษ เช่น สารกัมมันตรังสี สารเคมีที่มีฤทธิ์การกัดกร่อนสูง วัตถุที่ก่อให้เกิดโรคและเกิดอาการระคายเคือง ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ ยาฆ่าแมลง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น โดยขยะประเภทนี้จะพบน้อยที่สุดในกองขยะมูลฝอย และภาชนะรองรับทั้งหมด จะต้องแยกออกจากขยะประเภทอื่น ๆ เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีและส่งให้บริษัทที่รับดำเนินการกำจัดขยะอันตรายดำเนินการต่อไป

## 1.2 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน

ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste: MSW) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่เกิดจากครัวเรือน เขตที่อยู่อาศัย เขตชุมชน สถานประกอบการเชิงพาณิชย์ และสถานที่สาธารณะภายในเขตเทศบาลหรือเขตเมือง ได้แก่ รวมถึงเศษอาหาร กระดาษ พลาสติก สิ่งทอ และสารเคมีในครัวเรือนที่ไม่เป็นอันตราย ซึ่งส่วนมากจะถูกนำกลับไปใช้ใหม่ ในขณะที่ขยะมูลฝอยชุมชนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซึ่งร้อยละเอ็ดของขยะแต่ละชนิดประโยชน์จะถูกส่งไปกำจัดตาม

กระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยขั้นสุดท้าย (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ซึ่งรายละเอียดของขยะแต่ละชนิด แสดงดังนี้

1.2.1 เศษอาหารและอินทรีย์สาร หมายถึง องค์ประกอบที่ย่อยสลายได้รวดเร็ว และมักเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นเหม็นและต้นเหตุของแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะจากบ้านเรือน เนื่องจากขยะมูลฝอยประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักในสัดส่วนของปริมาณขยะทั้งหมดและยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่น้อยมาก ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองพื้นที่ในการกำจัด ตลอดจนการเก็บรวบรวมและขนส่ง ตัวอย่างขยะประเภทนี้ ได้แก่ เศษอาหาร ผัก ผลไม้ มูลสัตว์ ซากพืชและซากสัตว์ เป็นต้น

1.2.2 กระดาษ หมายถึง วัตถุที่เป็นแผ่นบาง ๆ ใช้วัสดุการผลิตจากใยเปลือกไม้ ฟาง หญ้า หรือเศษผ้า เป็นต้น ใช้สำหรับเขียนหรือพิมพ์หนังสือ เช่น วารสาร สื่อสิ่งพิมพ์ เอกสารที่ใช้ทำงานในสำนักงาน รวมถึงการนำกระดาษไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้แก่ กระดาษลัง กล่องกระดาษ และกระดาษแข็ง เช่น แผงขนมหรือแผงของเล่น กล่องนม กล่องเครื่องดื่มและน้ำผลไม้ โดยกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้ว ควรนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำหรือกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยวัตถุประสงค์หลักในการรีไซเคิลกระดาษ คือ การลดต้นทุนค่าใช้จ่าย การลดภาวะลดโลกร้อน รวมถึงการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตสู่สิ่งแวดล้อมได้ด้วย

1.2.3 พลาสติก หมายถึง กลุ่มของวัสดุสังเคราะห์ที่ทำจากโพลิเมอร์ ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่าโมโนเมอร์ซ้ำ ๆ มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการใช้งาน เนื่องจากความสามารถเฉพาะด้าน ความทนทาน และต้นทุนการผลิตที่ต่ำ

พลาสติก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก เทอร์โมพลาสติกสามารถหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้หลายครั้งโดยไม่ต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญ ซึ่งยังคงรักษาคุณสมบัติเดิมไว้หลังจากเย็นตัวและแข็งตัว ตัวอย่างทั่วไปของเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และโพลิสไตรีน (PS) ในทางกลับกัน พลาสติกเทอร์โมเซตติงจะไม่สามารถขึ้นรูปได้เมื่อได้รับความร้อนและแข็งตัวเป็นรูปและไม่สามารถขึ้นรูปใหม่ได้ด้วยการให้ความร้อน ตัวอย่างของเทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่ อีพอกซี ฟีนอลเรซิน และเมลามีน ปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นสิ่งที่แพร่หลายในชีวิตประจำวัน โดยนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ การก่อสร้าง การขนส่ง



ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สิ่งทอ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ มีข้อดี คือ น้ำหนักเบา ทนทานต่อการกัดกร่อน เป็นฉนวนไฟฟ้า และความสามารถในการขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้

1.2.4 แก้ว หมายถึง ของแข็งโปร่งใสหรือโปร่งแสง เกิดจากการหลอมส่วนผสมของซิลิกา (ซิลิกอนไดออกไซด์) โซดา (โซเดียมคาร์บอเนต) และปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์) ที่อุณหภูมิสูง จากนั้นจะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเพื่อสร้างโครงสร้างที่แข็งและไม่เป็นผลึก อาจมีการเติมสารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อให้คุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว วัสดุแก้วที่ถูกทิ้งซึ่งหมดอายุการใช้งานและไม่ต้องการอีกต่อไป ซึ่งรวมถึงเครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น ขวด เข็ยอก หน้าต่าง กระจก เครื่องแก้ว และผลิตภัณฑ์แก้วอื่น ๆ เมื่อแก้วถูกกำจัดเป็นขยะมูลฝอย อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในด้านบวก แก้วสามารถนำไปรีไซเคิลได้สูงและสามารถหลอมละลายและนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์แก้วใหม่ได้ การรีไซเคิลแก้วช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ลดการใช้พลังงาน และลดปริมาณขยะที่ส่งไปเพื่อดำเนินการฝังกลบ อย่างไรก็ตาม หากแก้วไม่ได้รับการรีไซเคิลหรือกำจัดอย่างเหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เมื่อทิ้งแก้วในหลุมฝังกลบ แก้วจะไม่สลายตัวหรือแตกตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่การสะสมของเสียในระยะยาว

1.2.5 โลหะ หมายถึง เศษเหล็กที่เป็นของแข็ง โดยวัสดุเหล็กที่ถูกทิ้งหรือไม่เป็นที่ต้องการแล้วถือว่าเป็นของเสีย เหล็กเป็นโลหะที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและการใช้งานต่าง ๆ ดังนั้นการเกิดขยะมูลฝอยที่เป็นเหล็กจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เศษเหล็กที่เป็นของแข็งอาจมาจากหลายแหล่ง รวมถึงกระบวนการทางอุตสาหกรรม กิจกรรมการก่อสร้างและการรีไซเคิล การดำเนินการผลิตและสินค้าอุปโภคบริโภค ตัวอย่างของเศษเหล็กที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เศษโลหะ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์เหล็กที่ถูกทิ้ง โครงสร้างเหล็ก ซึ่งไม่ได้ใช้งานแล้ววัสดุที่มีส่วนประกอบจากเหล็กและโลหะอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ผลิตจากเศษเหล็กผสมกับดีบุก เพื่อป้องกันและลดการเกิดสนิม ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ใช้สำหรับบรรจุอาหารกระป๋องสำเร็จรูป ผลไม้ น้ำผลไม้ อาหารหมักดอง เนื้อสัตว์แปรรูป และนมสดชนิดพร้อมดื่ม เป็นต้น

1.2.6 ไม้หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากไม้ ฟาง หญ้า เศษไม้ เช่น กิ่ง ฝัก ไม้ เก้าอี้ โต๊ะ เฟอร์นิเจอร์ และเตียง เป็นต้น

1.2.7 ยางและหนัง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มียางและหนังสัตว์เป็นองค์ประกอบ เช่น เครื่องหนัง รองเท้าหนัง ลูกบอลหนัง กระเป๋าหนัง ยางรัดของ และเศษยางล้อรถ เป็นต้น

1.2.8 ผ้า หมายถึง ชยะที่เกิดจากวัสดุผ้าที่ถูกทิ้งหรือไม่ต้องการ เช่น เศษเสื้อผ้า ด้าย และเส้นใย ได้แก่ ลินิน ไนลอน ปอ ผ้าใยไหม และผลิตภัณฑ์ผ้าอื่น ๆ ซึ่งสามารถกลายเป็น ชยะมูลฝอยได้เมื่อไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป

1.2.9 ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน หมายถึง ของเสียที่มีองค์ประกอบของวัตถุอันตรายและสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่สามารถเกิดการออกซิไดซ์ การระเบิด การติดไฟ หรือเกิดความเป็นพิษต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ รวมทั้งวัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็น เคมีภัณฑ์ที่ทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล พืช สัตว์ ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถ่านไฟฉาย ถ่านโทรศัพท์ แบตเตอรี่ กระจกหลอดฟลูออเรสเซนต์ สเปรย์บรรจุสารเคมี และบรรจุภัณฑ์ ยาฆ่าแมลง เป็นต้น

1.2.10 ชยะอื่น ๆ ที่แยกประเภทไม่ได้ หมายถึง สิ่งของที่ถูกร้าง ของที่เหลือจากการใช้งาน รวมถึงของเสื่อมสภาพหรือไม่เป็นที่ต้องการ ซึ่งไม่สามารถนำมาแยกประเภทได้ เช่น ผ้าอ้อมสำเร็จรูป ผ้าอนามัย และกระดาษทิชชู

### 1.3 ขั้นตอนและกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย

จากพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 หมวด 3 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูล และมูลฝอยนั้น สามารถนำกฎหมายข้างต้นมาใช้เป็นแนวปฏิบัติเพื่อการจัดการมูลฝอยซึ่งประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ดังต่อไปนี้

1.3.1 การเก็บรวบรวมขยะมูลฝอย (Solid waste storage) เป็นการรวบรวมขยะมูลฝอยจากบริเวณพื้นที่แหล่งกำเนิด ก่อนที่จะดำเนินการขนส่งเพื่อนำขยะมูลฝอยไปแปรรูป บำบัดหรือกำจัดต่อไป ซึ่งต้องคำนึงถึงการออกแบบพื้นที่จัดเก็บให้มีพื้นที่เพียงพอเพื่อรองรับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ตัวอย่างของภาชนะและอุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมและการเก็บขนขยะมูลฝอย เช่น ถังขยะ รถเก็บขน และสถานที่รวบรวมขยะมูลฝอย เป็นต้น

ระบบการเก็บรวบรวมขยะโดยทั่วไป มี 2 ระบบ คือ

1) ระบบการเก็บแบบรวม เป็นการเก็บขยะทุกประเภทไว้ในภาชนะเดียวกัน เป็นระบบที่มีความสะดวกสบายต่อผู้ใช้ในการทิ้งขยะ และไม่ต้องสิ้นเปลืองในการจัดหาภาชนะหลายชิ้นมารองรับ โดยไม่มีการคัดแยก แต่มักมีข้อเสีย คือ ความไม่สะดวกในการนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์และมีความยุ่งยากต่อการนำไปเพิ่มมูลค่าหรือการแปรรูป

2) ระบบการเก็บแบบแยก เป็นการแยกการทิ้งขยะไม่ให้ปะปนกัน โดยการใส่ภาชนะ 2-3 ใบหรือมากกว่า เพื่อทำการแยกขยะแต่ละชนิดออกจากกัน เช่น ขยะเปียก ขยะแห้ง ขยะติดเชื้อ และขยะอันตราย เป็นต้น ทำให้เกิดความสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ สร้างมูลค่าซึ่งสามารถนำขยะที่ได้ผ่านการคัดแยกแล้วไปกำจัดด้วยกระบวนการที่เหมาะสมได้

1.3.2 การเก็บขน (Solid waste collection) เป็นการขนย้ายหรือขนส่งขยะจากภาชนะเก็บรวบรวมตามแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปยังสถานที่ที่จะทำการแปรสภาพ การบำบัดในขั้นต้น หรือนำไปกำจัดทิ้ง พาหนะส่วนใหญ่ที่ใช้ในการขนย้าย ส่วนมากจะเป็นรถยนต์ที่มีระบบป้องกันไม่ให้เศษของขยะและน้ำชะขยะเกิดการหกรั่วซึม มีส่วนที่ปิดคลุมมิดชิดเพื่อป้องกันการฟุ้งและการกระจายในขณะขนส่งและเก็บขนขยะมูลฝอย

1.3.3 การกำจัดขยะมูลฝอย (Solid waste disposal) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งขยะมูลฝอยจะถูกกำจัดตามความเหมาะสม โดยพิจารณาจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ประเภทของขยะมูลฝอย สถานที่ที่จะใช้การกำจัด วิธีการในการกำจัด งบประมาณที่ใช้ จำนวนบุคลากรที่เพียงพอ มีความรู้ และมีประสบการณ์ แต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสีย การดำเนินการที่แตกต่างกันออกไป ก่อนเลือกใช้วิธีใดต้องศึกษาหารูปแบบที่เหมาะสมกับบริบทและมีประสิทธิภาพในกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยมากที่สุด นอกจากนี้ประเด็นที่สำคัญที่ต้องใช้ในการพิจารณาคือ การยอมรับจากภาคประชาชน ผู้มีส่วนร่วม และชุมชนในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง รวมทั้งผลกระทบเชิงลบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่โดยรอบสถานที่กำจัดขยะ

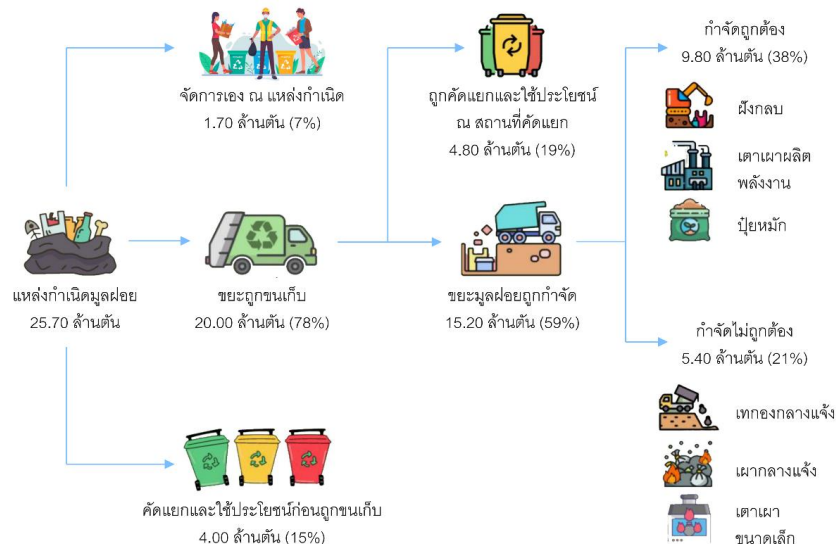
## 2. สถานการณ์เกี่ยวกับขยะมูลฝอยในประเทศไทย

กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2566) รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 25.70 ล้านตัน หรือ 70,411 ตันต่อวัน ซึ่งขยะมูลฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2564 ที่มีปริมาณขยะมูลฝอย 24.98 ล้านตัน เนื่องจากในปี พ.ศ. 2563-2564 ประเทศไทยอยู่ในช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ทำให้มีการจำกัดกิจกรรมของประชาชน อีกทั้งมีการควบคุมการเดินทางภายในประเทศและระหว่างประเทศ เมื่อสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาในปี พ.ศ. 2565 คลี่คลายลง ทำให้ภาครัฐมีมาตรการกระตุ้นการท่องเที่ยวภายในประเทศและเริ่มเปิดประเทศต้อนรับนักท่องเที่ยว



ชาวต่างชาติ ส่งผลให้ประชาชนกลับมาดำเนินชีวิตตามปกติมากขึ้น รวมถึงประชาชนบางส่วน ยังคงมีพฤติกรรมการบริโภคบริการสั่งซื้อสินค้าและอาหารผ่านระบบออนไลน์ ทำให้ขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single use plastic) ยังคงมีปริมาณสูง

ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น 25.70 ล้านตัน มีภาพรวมในการจัดการขยะมูลฝอย ดังนี้ ขยะมูลฝอย 1.70 ล้านตัน (ร้อยละ 7) ถูกจัดการกันเองโดยบ้านเรือนและชุมชนที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่ยังไม่มีการให้บริการเก็บขนจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนและแหล่งกำเนิด 4.00 ล้านตัน (ร้อยละ 15) ถูกคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ โดยกระบวนการนำไปขายให้กับร้านรับซื้อของเก่า นอกจากนี้ขยะมูลฝอยที่เหลือประมาณ 20.00 ล้านตัน (ร้อยละ 78) ถูกเก็บขนโดยรถบรรทุกทุกเก็บขนขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือเอกชน ไปยังสถานที่คัดแยกขยะมูลฝอยหรือสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย โดยขยะมูลฝอยเพียงร้อยละ 19 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ถูกคัดแยกในระหว่างการเก็บขน ขยะมูลฝอย ร้อยละ 59 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ถูกนำไปกำจัด ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย แบ่งเป็นการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ร้อยละ 38 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นและอีกร้อยละ 21 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง แสดงดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ภาพรวมการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565

ดัดแปลงจาก: กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2566)

จากการสำรวจพบว่าสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเอกชนทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2565 มีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่เปิดดำเนินการทั้งสิ้น 2,074 แห่ง แบ่งออกเป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยซึ่งดำเนินการอย่างถูกต้อง จำนวน 111 แห่ง ประกอบด้วย ระบบฝังกลบ ระบบเตาเผาผลิตพลังงาน ระบบเตาเผาที่มีระบบบำบัดมลพิษอากาศ ระบบหมักทำปุ๋ย ระบบผลิตเชื้อเพลิงขยะ และระบบแบบผสมผสาน สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยซึ่งดำเนินการอย่างไม่ถูกต้อง จำนวน 1,963 แห่ง ประกอบด้วย การเทกองที่มีการควบคุม การเทกองกลางแจ้ง การเผากลางแจ้ง การใช้เตาเผาที่ไม่มีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ และการกำจัดที่มีการเทกองหรือการเทกองที่มีการควบคุมภายในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งการกำจัดขยะมูลฝอยในประเทศไทยส่วนใหญ่มีรูปแบบการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง มีจำนวน 1,767 แห่ง (ร้อยละ 90) ซึ่งถือเป็นการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถดำเนินการได้ง่าย ต้นทุนต่ำ รองรับขยะมูลฝอยได้ในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามขั้นตอนและวิธีการดำเนินการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ส่งผลกระทบบ้างให้เกิดสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค อาจเกิดการปนเปื้อนสารมลพิษสู่แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน อีกทั้งเกิดการปลดปล่อยแก๊สที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย ภาพรวมสัดส่วนสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในประเทศไทย แสดงดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 สัดส่วนสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในประเทศไทยปี พ.ศ. 2565

## 2.1 แผนการจัดการขยะของประเทศไทย ฉบับที่ 2

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ทส.) ได้มีการนำแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งเป็นแผนการขับเคลื่อนการดำเนินการจัดการขยะอย่างเป็นรูปธรรมระดับชาติ โดยบูรณาการด้านการจัดการขยะและระดมความคิดเห็นจากทุก ๆ ภาคส่วนอย่างครอบคลุมทั่วทุกภูมิภาคในการวางแผนการจัดการขยะระดับประเทศฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565-2570) เนื่องจากแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2559-2564) (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2565) ได้สิ้นสุดลง

โดยเน้นการลดปริมาณขยะที่สร้างขึ้น การคัดแยกขยะที่แหล่งกำเนิด การนำขยะไปใช้ประโยชน์ และการกำจัดขยะที่เหมาะสม โดยให้ความสำคัญกับการจัดการขยะ ตามวัฏจักรวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle management approach) เพื่อป้องกันการเกิดขยะต้นทาง เริ่มตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco design) ส่งเสริมการบริโภคที่ยั่งยืนโดยเลือกใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถใช้ซ้ำและเรียกคืนกลับเพื่อนำไปรีไซเคิล มีระบบการคัดแยก ณ แหล่งกำเนิด เพื่อนำทรัพยากรกลับคืนและหมุนเวียนของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Circular waste economy) ให้มากที่สุดทั้งในรูปแบบวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิล (Material recovery) และพลังงาน (Energy recovery) เพื่อให้เหลือปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัดปลายทางให้มีปริมาณเหลือน้อยที่สุด (Final disposal) ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการขยะฐานศูนย์ (Zero waste) อย่างไรก็ตาม แผนการจัดการขยะเป็นเรื่องที่เปลี่ยนแปลงและพัฒนาตลอดเวลา ดังนั้นข้อมูลล่าสุดและแผนการจัดการขยะของประเทศไทยอาจมีการอัปเดตเกิดขึ้น และควรติดต่อหน่วยงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อขอข้อมูลและเอกสารเพิ่มเติมเกี่ยวกับแผนการจัดการขยะของประเทศไทยในปัจจุบัน

### 2.1.1 แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศไทย ฉบับที่ 2

แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศไทย ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565-2570) สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

1) ขยะมูลฝอยชุมชนควรนำไปกำจัดด้วยวิธีการกำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ร้อยละ 80 โดยจะเพิ่มกระบวนการคัดแยกขยะจากบ้านเรือนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์และนำกลับไปรีไซเคิล ร้อยละ 36 กระบวนการกำจัดขยะส่วนใหญ่มุ่งเน้นการนำขยะจากบริเวณสถานที่กำจัด

จากหลุมฝังกลบหรือพื้นที่เทกองขยะ โดยคัดเลือกขยะมูลฝอยที่มีค่าความร้อนสูงไปเผาด้วยความร้อนสูงเพื่อผลิตเป็นพลังงานจากขยะมูลฝอย

2) เพิ่มอัตราการนำขยะมูลฝอยกลับมาเป็นวัสดุตั้งต้นในกระบวนการรีไซเคิลมากยิ่งขึ้น ทั้งขยะมูลฝอยประเภทพลาสติก แก้ว เศษผ้า กระดาษ และอลูมิเนียม ระหว่างร้อยละ 74-100

3) ลดปริมาณขยะเศษอาหารและขยะอินทรีย์ คงเหลือร้อยละ 28 เพื่อลดและป้องกันปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จากขยะประเภทเศษอาหาร และลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ

4) ของเสียอันตรายชุมชนและซากของเสีย ควรได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและหลักสุขาภิบาล ร้อยละ 50 เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

5) ขยะมูลฝอยติดเชื้อและกากอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย ต้องเกิดการจัดการอย่างถูกต้องทั้งหมดที่เกิดขึ้นร้อยละ 100 ทั้งนี้มีความมุ่งมั่นเพื่อทำให้ขยะมูลฝอยไม่ใช่สิ่งของที่ไร้ประโยชน์ แต่ขยะมูลฝอยคือทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และการกำจัดขยะต้องไม่เกิดผลกระทบต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม โดยมีวิสัยทัศน์ คือ “การจัดการขยะวิถีใหม่เพื่อสิ่งแวดล้อมสะอาด และก้าวสู่การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมที่ยั่งยืน”

### 3. การกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง

การกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง (Open dumping disposal) เป็นกระบวนการกำจัดแบบเทกองขยะบนพื้น (Open dump) เป็นการจัดการมูลฝอยในสภาพที่ไม่ดี ไม่มีการดำเนินการเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอย กรมควบคุมมลพิษ, 2554) การเทกองบนพื้นกลางแจ้งเป็นวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยอย่างง่ายและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด คือ ขยะที่เก็บรวบรวมจากชุมชนจะถูกขนส่งไปยังสถานที่ทิ้งขยะ ซึ่งอาจมีสภาพเป็นที่ราบทั่วไปหรืออาจเป็นพื้นที่ที่เป็นหลุมหรือบ่อขยะที่ขนส่งมานั้นจะถูกนำมาเทกองบนพื้นดิน โดยมีได้ดำเนินการใด ๆ ทั้งสิ้น ซึ่งเมื่อมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นก็จะกลายเป็นภูเขาขยะที่สร้างปัญหาในหลาย ๆ ด้าน ทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรคต่าง ๆ เช่น หนู หนอน และแมลงวัน ทำให้เกิดน้ำเสียจากกองขยะซึ่งอาจปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใกล้เคียงหรือน้ำใต้ดินได้ วิธีนี้จึงไม่ถือว่าเป็นการกำจัดขยะที่ถูกสุขลักษณะและควรต้องหลีกเลี่ยงจะดำเนินการ เนื่องจากเป็นการทำลายทัศนียภาพที่สวยงามของพื้นที่ และที่สำคัญ

คือทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณโดยรอบพื้นที่ทิ้งขยะ อย่างไรก็ตาม พบว่าในปัจจุบันองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นหลายแห่งทั่วประเทศยังคงดำเนินการกำจัดขยะด้วยวิธีเทกองบนพื้นกลางแจ้ง เนื่องจากท้องถิ่นเหล่านั้นไม่มีสถานที่ทิ้งขยะถูกหลักสุขาภิบาลเป็นของตนเอง รวมทั้งยังขาดแคลนงบประมาณในการสนับสนุนที่จะใช้ในการก่อสร้างสถานที่ฝังกลบขยะอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (อาณัติ ต๊ะปินตา, 2553)

นอกจากนี้การนำขยะมูลฝอยมาเทกองบนพื้นกลางแจ้งโดยไม่มีวิธีการจัดการใด ๆ ในบางครั้งพบว่ากองขยะที่ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ มักถูกกำจัดด้วยวิธีการเผาทิ้ง เรียกว่า การเผาในที่โล่ง (Open burning) ซึ่งการกระทำนี้ยิ่งทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมตามมา เพราะควันไฟจากการเผาขยะจะสร้างมลพิษทางอากาศ ซึ่งนับเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย และมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

### 3.1 รูปแบบการเทกอง

กรมควบคุมมลพิษ กองแผนงานและประเมินผล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2559) กำหนดรูปแบบและลักษณะการเทกองขยะมูลฝอยประเภทต่าง ๆ ไว้ดังนี้

3.1.1 การเทกองที่มีการควบคุม (Controlled dump) เป็นรูปแบบการเทกองที่มีการควบคุมปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าสู่พื้นที่ในแต่ละวัน รวมถึงมีการบดอัดและกลบทับมูลฝอยเป็นครั้งคราว รูปแบบการกำจัดประเภทนี้จะไม่ต้องมีโครงสร้างพื้นฐานตามหลักวิศวกรรม แต่จะใช้มาตรการดำเนินงานด้านวิศวกรรมที่จำเป็นเพื่อใช้ในการควบคุมและลดปริมาณมลสารปนเปื้อนจากสถานที่กำจัดมูลฝอยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม

3.1.2 การฝังกลบมูลฝอยเชิงวิศวกรรม (Engineered landfill) เป็นรูปแบบการกำจัดมูลฝอยที่มีโครงสร้างพื้นฐานที่มีความจำเป็น มีการติดตั้งระบบกันซึมในบริเวณบ่อฝังกลบมูลฝอย การฝังกลบมูลฝอยเชิงวิศวกรรม เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การก่อสร้าง และการจัดการสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีการควบคุมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอย หลุมฝังกลบได้รับการออกแบบมาเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น เช่น วัสดุสำหรับการป้องกันการรั่วซึม ระบบรวบรวมน้ำชะขยะ ระบบรวบรวมแก๊ส และระบบปิดชั้นสุดท้าย การออกแบบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและควบคุมการปล่อยแก๊สจากหลุมฝังกลบ



3.1.3 การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) เป็นการฝังกลบสมัยใหม่ที่ดำเนินการออกแบบการฝังกลบ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดขยะมูลฝอย เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกทางวิศวกรรมที่ใช้เทคนิคและโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อควบคุมและจัดการของเสีย การฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะอยู่ภายใต้กิจกรรมการติดตามและควบคุมอย่างสม่ำเสมอ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและรับรองการปฏิบัติตามกฎข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงการตรวจสอบและการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อจัดการกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ การควบคุมการปลดปล่อยแก๊ส การตรวจสอบคุณภาพน้ำชะขยะ คุณภาพน้ำใต้ดิน การหลุดตัว และความเสถียร โดยเป้าหมายของการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะคือเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะและส่งเสริมแนวทางปฏิบัติในการจัดการขยะถูกหลักสุขาภิบาลอย่างยั่งยืน

### 3.2 ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์

ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ (นิชชา บุรณสิงห์, 2558) โดยมีรายละเอียดของผลกระทบต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและสัตว์พาหะนำโรค เชื้อโรค และจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับขยะมูลฝอย ซึ่งมีโอกาสที่จะขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากขยะมูลฝอยมีความชื้นและปริมาณสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารต่อการขยายพันธุ์หรือเพิ่มจำนวนมากขึ้น ขยะอินทรีย์ที่ทิ้งทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเปื่อยและย่อยสลายกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงวัน เป็นที่อยู่ของหนูและแมลงสาบ ซึ่งเป็นสัตว์พาหะนำโรคจากสัตว์มาสู่มนุษย์

3.2.2 เป็นสาเหตุหลักสำคัญในการก่อโรค เนื่องจากการเก็บรวบรวม การเก็บขน และกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยอย่างไม่ถูกวิธี หรือปล่อยทิ้งไว้ให้ปริมาณขยะมูลฝอยเหลือทิ้งตกค้างไว้ในชุมชน จนเป็นบ่อเกิดของเชื้อโรคต่าง ๆ ทำให้ก่อโรคบางโรคได้ เช่น โรคตับอักเสบบและไข้ไทฟอยด์ เป็นต้น

3.2.3 ก่อให้เกิดความรำคาญ หากมีการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยไม่หมด ณ บริเวณแหล่งกำเนิดจากชุมชนหรือครัวเรือน จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ชุมชน นอกจากนี้ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเก็บรวบรวม การเก็บขน การบีบอัด การขนถ่าย และกระบวนการกำจัดขยะปลายทาง ยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่สร้างความรำคาญ และความกังวลด้านสุขภาพแก่ประชาชนในพื้นที่ชุมชนหรือที่อยู่อาศัยบริเวณใกล้เคียงอย่างต่อเนื่อง

3.2.4 ก่อให้เกิดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อม กระบวนการจัดการขยะมูลฝอยไม่ถูกวิธี เป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดมลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ และมลพิษทางอากาศ เนื่องจากขยะส่วนใหญ่ที่ขาดการเก็บรวบรวม ถูกปล่อยทิ้งไว้ในพื้นที่ชุมชน ไม่เกิดการรวบรวมเพื่อนำมากำจัดอย่างถูกวิธี เมื่อมีฝนตกลงมาจะทำให้เกิดการไหลชะนำความสกปรก เชื้อโรค สารพิษจากขยะมูลฝอยไหลลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเกิดการปนเปื้อนและเกิดการเน่าเสียได้ นอกจากนี้ขยะมูลฝอยยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดิน ซึ่งจะเกิดผลกระทบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของขยะมูลฝอย หากขยะมูลฝอยมีขยะอันตรายปนเปื้อน ได้แก่ ซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ ถ่านไฟฉาย ซากโทรศัพท์มือถือ แบตเตอรี่ แผงวงจรไฟฟ้า และซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะส่งผลให้ปริมาณโลหะหนักจำพวกปรอท แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และทองแดง เกิดการชะล้างสู่ดินและเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งจะมีผลเสียต่อระบบนิเวศในดิน และสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน เมื่อเกิดการย่อยสลายทำให้ดินเกิดความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น และเมื่อฝนตกลงมาชะล้างขยะมูลฝอยไหลลงสู่ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของดินบริเวณพื้นที่รอบ ๆ อีกทั้งการนำขยะมูลฝอยไปกำจัดด้วยวิธีการเทกองบนพื้นหรือการฝังกลบที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำชะขยะลงสู่ดินได้โดยตรง และมลพิษทางอากาศจากขยะมูลฝอยนั้น อาจเกิดขึ้นได้จากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของการเผาขยะมูลฝอยกลางแจ้ง ทำให้คุณภาพอากาศเสีย เกิดควัน และอนุภาคฝุ่นฟุ้งกระจายในบรรยากาศ หรืออาจเกิดจากมลสารที่มีอยู่ในขยะจำพวกแก๊ส ไอ หรือสารระเหยง่าย และมลพิษจากปัญหากลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ที่ทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์

3.2.5 ทำให้เกิดความเสียหายต่อสุขภาพ ขยะมูลฝอยที่ปล่อยทิ้งและรวบรวมโดยขาดประสิทธิภาพในการจัดการและควบคุมอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะมูลฝอยจำพวกกากกัมมันตรังสี กากอุตสาหกรรม และของเสียอันตราย หากขาดการจัดการที่เหมาะสม อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนได้ เช่น การได้รับสัมผัสสารพิษอันตรายผ่านทางผิวหนัง การดื่มกิน และการหายใจ เป็นต้น

3.2.6 เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจ เมื่อเกิดปริมาณขยะมูลฝอยในปริมาณมาก ย่อมต้องใช้ทรัพยากรและงบประมาณจำนวนมากในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายให้มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลกระทบจากการจัดการขยะมูลฝอยไม่ถูกวิธี ทำให้เกิดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อมตามมา ได้แก่ มลพิษด้านน้ำ ด้านดิน และด้านอากาศ เกิดการปนเปื้อนสารมลพิษได้ ซึ่งมลพิษด้านต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์และเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ

3.2.7 ทักษะนี้ภาพเกิดความไม่สวยงาม หากไม่มีกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยที่ดี ตั้งแต่ต้นทาง กลางทาง และปลายทาง จะทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบ เกิดทัศนียภาพทางสิ่งแวดล้อมที่ไม่สวยงาม ส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของชุมชน จังหวัด และบางครั้งอาจส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของประเทศ ในทางตรงกันข้ามหากมีการเก็บขน การขนถ่าย รวมถึงการกำจัดขยะมูลฝอยที่ดีจะทำให้ชุมชนมีความน่าอยู่ เป็นระเบียบเรียบร้อย เป็นเขตปลอดมลพิษ และมีทัศนียภาพของชุมชนที่สวยงาม ซึ่งแสดงถึงวัฒนธรรมและกฎระเบียบที่ประชาชนให้ความร่วมมือของชุมชนนั้น ๆ

#### 4. มลพิษทางสิ่งแวดล้อม

Andrews (1972) ได้ให้ความหมายของคำว่า มลพิษ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์หรือนำสารอันตรายหรือมลพิษเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลเสียทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสุขภาพของมนุษย์ ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต และคุณภาพโดยรวมของสิ่งแวดล้อม

ราชบัณฑิตยสถาน (2525) ได้ให้ความหมายของคำว่า มลพิษ ซึ่งเดิมใช้คำว่า มลภาวะ ตรงกับภาษาอังกฤษว่า "Pollution" มาจากคำว่า "Pollute" หมายถึง ทำให้เกิดความสกปรกหรือมีความเป็นพิษจากกระบวนการต่าง ๆ ที่มนุษย์กระทำทั้งโดยตั้งใจและไม่ได้ตั้งใจปล่อยหรือสร้างของเสีย ซึ่งไม่พึงปรารถนาเข้าไปสะสมในบรรยากาศ พื้นดินและน้ำ มีผลทำให้สิ่งแวดล้อมเกิดความเสื่อมโทรมลงหรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

คูแก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์ (2531) ได้ให้ความหมายของคำว่า มลพิษ หมายถึง สภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางเคมี หรือทางชีววิทยาในดินและอากาศ เช่น อากาศมีการปนเปื้อนแก๊สต่าง ๆ โลหะหนัก ดินและน้ำที่มีคราบน้ำมัน ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม เป็นต้น

เกษม จันทรแก้ว (2541) ได้ให้ความหมายของคำว่า มลพิษ หมายถึง ภาวะแวดล้อมที่มีความไม่สมดุลของทรัพยากรและมีสารพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ พืช และสัตว์

นอกจากนี้ผลกระทบที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การปนเปื้อนและการทำให้คุณภาพของอากาศเสื่อมโทรมลงจากปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ โดยมีความหมายของคำว่า มลพิษทางอากาศ ดังนี้



กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2550) ได้ให้ความหมายของคำว่า มลพิษทางอากาศ หมายถึง การปลดปล่อยแก๊สที่มีความเป็นอันตราย ฝุ่นละออง และสารเคมีสู่อากาศ ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรม การปลดปล่อยจากยานพาหนะ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และกระบวนการทางธรรมชาติ มลพิษทางอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ อากาศเสียที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เป็นอันตรายต่อมนุษย์น้อยมาก เพราะอยู่ไกลจากบริเวณแหล่งกำเนิด และกรณีที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากควันจากท่อไอเสียของรถยนต์ ควันจากปล่องควันหรือจากเครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรม อันมาจากกระบวนการผลิต และจากการระเหยของแก๊สบางชนิด ซึ่งเกิดจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยและการกำจัดของเสีย เป็นต้น มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์เป็นอย่างมาก เพราะแหล่งกำเนิดอยู่ใกล้และมีปริมาณที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสัตว์ นอกจากนี้สารมลพิษทางอากาศ (Air pollutants) หมายถึง สารมลพิษปนเปื้อนหรือเจือปนอยู่ในอากาศมีปริมาณและคงอยู่ในบรรยากาศได้นานพอที่จะมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ พืช หรือสัตว์ และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์หรือคุณภาพสิ่งแวดล้อม แบ่งออกเป็น 8 ประเภท ดังนี้

อนุภาค (Particulates) หมายถึง อนุภาคละเอียดของของแข็งที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา โดยทั่วไปประกอบด้วยฝุ่นดิน สิ่งสกปรก เกสรดอกไม้ เซลล์ผิวหนัง สารอินทรีย์ และสารอื่น ๆ ที่เกิดจากกระบวนการอัด กระแทก ทบ และขุดเจาะ อนุภาคฝุ่นมีขนาดที่แตกต่างกัน ตั้งแต่อนุภาคที่มองเห็นได้ไปจนถึงอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งถือเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์เป็นอย่างมาก

ฝุ่น (Dust) หมายถึง อนุภาคของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่เกิดจากการขัด กระแทก ตัด เจาะ และทาบ เป็นต้น ทำให้วัตถุแตกออกหรือมีขนาดเล็กลง อาจเกิดการฟุ้งกระจายได้ในบรรยากาศ ฝุ่นมีขนาดตั้งแต่ ฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จนถึงขนาดจิ๋วที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งถือเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากฝุ่นสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้โดยตรง

ฟุ้ง (Fume) หมายถึง การควบแน่น (Condensation) หรือการระเหย (Evaporation) ในปฏิกิริยาทางเคมีจากของแข็งหลอมเหลว เช่น โลหะหลอมเหลว ซึ่งสามารถมีสถานะได้ทั้ง 3 สถานะ คือ สถานะของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) และแก๊ส (Gas phase) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคของแข็งหรือละอองของเหลวที่ปล่อยออกมาในอากาศเมื่อสารบางชนิดได้รับความร้อน

จึงเกิดการระเหยหรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทั้งจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม การประกอบอาหาร การเผาไหม้ ตัวทำละลายและสารเคมี โดยทั่วไปขนาดของพุ่มมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.0001-1 ไมโครเมตร

ควัน (Smoke) หมายถึง สิ่งที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงหรือการระเหยของวัสดุ สามารถมองเห็นได้หรือมองไม่เห็น โดยทั่วไปขนาดของควันมักมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร

ละออง (Mist) หมายถึง การแขวนลอยของหยดของเหลวเล็ก ๆ ในอากาศที่เกิดจากของเหลวถูกอัดให้เกิดการแตกกระจายออก (Atomization) กลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กแขวนลอยในอากาศ โดยทั่วไปมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำที่เป็นของเหลวหรือของเหลวอื่น ๆ ระเหยหรือกลายเป็นละออง

หมอก (Fog) หมายถึง ปรากฏการณ์สภาพอากาศที่มีลักษณะเป็นชั้นหนาลำเยิมของหยดน้ำเล็ก ๆ ที่ลอยอยู่ในอากาศใกล้กับพื้นผิวโลก เกิดขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำขนาดเล็ก ซึ่งมักเป็นผลมาจากการทำความเย็นหรือเมื่ออากาศชื้นสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า โดยทั่วไปมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.25 ไมโครเมตร

แก๊ส (Gas) หมายถึง สสารที่ไม่มีรูปร่างหรือปริมาตรที่แน่นอน และสามารถขยายตัวได้อย่างอิสระ แก๊สประกอบด้วยโมเลกุลหรืออะตอมเดี่ยวที่กระจายตัวเป็นวงกว้างและเคลื่อนที่ไปในทิศทางแบบสุ่มด้วยความเร็วสูง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดัน

ไอ (Vapor) หมายถึง ของแข็งหรือของเหลวที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศเมื่อสารได้รับอุณหภูมิและความดันเพียงพอ โดยการเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิ จะก่อให้เกิดการระเหยหรือเดือด ซึ่งสารจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวหรือของแข็งกลายเป็นไอ โดยสามารถบีบอัดได้และสามารถผสมหรือแพร่กับแก๊สอื่นได้ง่าย

#### 4.1 การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์ (2556) ระบุว่า การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ มีหลายวิธีซึ่งผู้วิจัยจะต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสม มลพิษทางอากาศสามารถวัดได้โดยใช้เทคนิคและเครื่องมือตรวจสอบต่าง ๆ การเลือกวิธีการตรวจวัดขึ้นอยู่กับสารก่อมลพิษเฉพาะที่สนใจและวัตถุประสงค์ในการตรวจวัด โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศต้องเป็นเครื่องมือที่ได้รับ

การยอมรับและสอบเทียบมาตรฐานในการประเมินสารมลพิษตามข้อแนะนำและข้อกำหนด การตรวจวัดของหน่วยงานหรือองค์กรในระดับสากล จึงจะทำให้สามารถตรวจวัดคุณภาพอากาศได้อย่างถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับ การตรวจวัดสารมลพิษอากาศจำแนกได้ตามวัตถุประสงค์และลักษณะของสารมลพิษ สามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้ ดังนี้

1) การตรวจวัดสารมลพิษในอากาศหรือภายนอกอาคาร (Ambient or outdoor air sampling) เพื่อตรวจวัดและประเมินความเข้มข้นของสารมลพิษปนเปื้อนในบรรยากาศ

2) การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศที่ระบายจากแหล่งกำเนิด

3) การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศเพื่อศึกษาผลกระทบจำเพาะต่อตัวบุคคล

#### 4.2 การเก็บตัวอย่างสารมลพิษทางอากาศ (Air pollutant sampling)

กุลยา โอตากะ (2547) ระบุว่า การเก็บตัวอย่าง (Sampling) หมายถึงการรวบรวมสิ่ง ที่ต้องการเพื่อนำไปวิเคราะห์และทดสอบ และการติดตามตรวจสอบ (Monitoring) เป็นการเก็บ ตัวอย่างและตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งจากบริเวณแหล่งกำเนิดที่ เฉพาะเจาะจง วิธีการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บตัวอย่างแบบไหนนั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ ต้องการ หากเป็นการเก็บตัวอย่างเพื่อพิจารณาผลในระยะเวลานั้น ๆ สามารถทำการเก็บตัวอย่าง เป็นครั้งคราวได้ โดยระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างไม่มีการต่อเนื่องเป็นเวลานาน การเก็บตัวอย่าง แบบต่อเนื่องสามารถทำได้โดยการเลือกใช้เครื่องมือที่สามารถทำการตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่องหรือ อาจเรียกว่าเครื่องมือแบบอัตโนมัติ (Automatic sampler) การเก็บตัวอย่างอากาศ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง (Continuous sampling) จะใช้เวลาในการเก็บ ตัวอย่างแบบต่อเนื่องติดต่อกัน 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ หรือตามฤดูกาล เป็นต้น

2) การเก็บตัวอย่างเป็นครั้งคราว (Grab sampling หรือ Spot sampling) จะใช้ เวลาในการเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 5 นาที โดยเก็บตามช่วงเวลาและความถี่ เช่น ทุก ๆ 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง หรือเดือนละ 1-2 ครั้ง เป็นต้น

การสุ่มตัวอย่างอากาศแวดล้อมสำหรับการประเมินคุณภาพอากาศ การระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการควบคุม และพัฒนากลยุทธ์เพื่อลดมลพิษทางอากาศ การควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวด โดยขั้นตอนการตรวจวัดและวิเคราะห์มีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งรวมถึงความเชี่ยวชาญ การสอบเทียบเครื่องมือที่เหมาะสม การบำรุงรักษา การใช้วัสดุอ้างอิงที่ผ่านการรับรอง การปฏิบัติตามขั้นตอนมาตรฐาน วิธีการเก็บตัวอย่างต้องมีวิธีการอ้างอิงหรือเป็นวิธีมาตรฐาน (Standard method) และวิธีเทียบเท่า (Reference method) ซึ่งใช้แทนวิธีมาตรฐานได้ ประกอบด้วย

1) การคำนวณปริมาณสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมดในบรรยากาศในเวลา 1 ปี ในแต่ละประเภทควรคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) ของผลการวิเคราะห์ การสุ่มตัวอย่างอากาศอย่างต่อเนื่องที่ดำเนินการตลอด 24 ชั่วโมงในทุกเดือน (อย่างน้อยเดือนละครั้ง) หากไม่สามารถทดสอบตัวอย่างสองตัวอย่างได้ จะต้องเก็บตัวอย่างเหล่านั้นเพื่อวิเคราะห์ภายใน 30 วันนับจากวันที่ได้รับตัวอย่างอากาศ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่าง

2) การคำนวณหาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในช่วงเวลา 1 ปี ตามข้อ 1 ต้องคำนวณผลที่ความดัน 1 บรรยากาศ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิบรรยากาศ 25 องศาเซลเซียส

3) วิธีการสุ่มตัวอย่าง ตามวิธีการตรวจวัดในข้อ 1 ให้ใช้หลักการและอุปกรณ์ตรวจวัดหรือการวิเคราะห์อย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ การตรวจวัดและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในระยะเวลา 1 ปี เว้นแต่จะกำหนดไว้เป็นอย่างอื่นในประกาศนี้

3.1) US EPA Compendium Method TO-14A “Determination of volatile organic compounds (VOCs) in ambient air using specially prepared canisters with subsequent analysis by gas chromatography (GC)” ตามที่ US EPA กำหนด

3.2) US EPA Compendium Method TO-15 “Determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected in specially prepare canisters and analyzed by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด

3.3) วิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจวัดและเครื่องมือตรวจวิเคราะห์อื่น ตามที่กรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา ประกาศ ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2550

### 4.3 การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามค่ามาตรฐานของประเทศไทยได้อ้างอิงวิธีการตรวจวัดขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA) ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ นอกจากนี้การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ทำได้โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบแก๊สโครมาโทกราฟีและตรวจวัดยืนยันด้วยเทคนิคแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography-mass spectrometer: GC-MS) เป็นวิธีที่ใช้ตรวจวัดและยืนยันที่มีความเหมาะสมและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์แบบแก๊สโครมาโทกราฟีและตรวจวัดยืนยันด้วยเทคนิคแมสสเปกโตรมิเตอร์ มีดังนี้

- 1) สามารถแยกองค์ประกอบของสารได้ดี
- 2) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ
- 3) มีความไวและความแม่นยำในการตรวจวัด
- 4) สามารถวิเคราะห์กลุ่มสารแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจง
- 5) ให้ Sensitivity ในการตรวจวัดสูง และมีความแม่นยำ
- 6) สามารถบ่งชี้ถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้

### 5. สารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds: VOCs) เป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่ระเหยกลายเป็นไอภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ เป็นสารประกอบที่มีการปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ โดยแหล่งของการปลดปล่อยมีทั้งจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์และธรรมชาติ โดยได้ปรากฏความรุนแรงและความเป็นอันตรายต่อสุขภาพในศตวรรษที่ 19 (พ.ศ. 2344-2443) ซึ่งพบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ ประมาณ 235 ล้านตันต่อปี (นิพนธ์ ตังคนานุรักษ์ และ คณิตา ตังคนานุรักษ์, 2552)

Cullis and Hirschler (1989) ได้ระบุว่ากลุ่มสารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds) หมายถึง สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีไฮโดรเจน ออกซิเจน หรือธาตุฮาโลเจน เช่น คลอรีน โบรมีน เป็นองค์ประกอบจัดเป็นสารพวกอะลิฟาติก (Aliphatic) หรือกลุ่มสารอะโรมาติก (Aromatic) ที่มีความดันไอมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถ

ระเหยเป็นไอ กระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไอของสารเหล่านี้สามารถจะเปลี่ยนรูปเป็นของเหลวหรือของแข็งตามสภาวะเดิมได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน สำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถแบ่งกลุ่มตามโครงสร้างโมเลกุลได้ 2 กลุ่ม (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555) ได้แก่

1) กลุ่ม Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons หมายถึง สารประกอบโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ไม่มีอะตอมของฮาโลคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น กลุ่มของสารอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) เช่น แก๊สโซลีน (Gasoline) เฮกเซน (Hexane) กลุ่มของสารอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) เช่น ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม ได้แก่ โทลูอีน (Toluene) เบนซีน (Benzene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีน (Xylenes) สไตรีน (Styrene) และฟีนอล (Phenol)

2) กลุ่ม Chlorinated VOCs หรือ Halogenated hydrocarbons หมายถึง สารประกอบในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีฮาโลคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่ม Non-chlorinated VOCs เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและฮาโลกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานและยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือโดยทางวิธีเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงและสะสมในตัวกลางทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างยาวนาน

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2555) แบ่งประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย ตามลักษณะของโครงสร้าง แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) สารประกอบกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายโซ่เปิดอาจจะต่อกันเป็นสายยาวไม่มีกิ่ง เรียกว่า โซ่ตรง หรือต่อกับคาร์บอนในสายยาว เรียกว่า โซ่กิ่ง แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามชนิดของพันธะ เช่น สารเฮกเซน มีเทน (Methane) และพาราฟิน (Paraffin)

2) สารประกอบกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุมหรือเป็นกลุ่มมีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจน และคาร์บอน ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ เช่น เบนซีน โทลูอีน ไอโซเมอร์ของไซลีน และเอทิลเบนซีน



3) สารประกอบกลุ่มออกซิเจน (Oxygenated compounds) หมายถึง สารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น อะซิโตน (Acetone) คีโตน (Ketones) แอลกอฮอล์ (Alcohols) อีเทอร์ (Ether) เอมีน (Amine) เอไมด์ (Amide) และกรดอินทรีย์ (Organic acid) จากการพิจารณาอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไป 24 ชั่วโมง พบว่าสารส่วนใหญ่มาจากการใช้วัตถุดิบสารเคมีภัณฑ์ที่นำมาใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต กระบวนการกักเก็บ ขนย้าย และการจัดการสารเคมีที่ไม่เหมาะสมและสามารถกำหนดประเภทอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ 12 ประเภท ดังนี้

- 3.1) อุตสาหกรรมประเภทคู่ออมรถยนต์และพ่นสีรถยนต์
- 3.2) อุตสาหกรรมประเภทเฟอร์นิเจอร์ไม้ และทำเครื่องไม้
- 3.3) อุตสาหกรรมประเภทพลาสติก
- 3.4) อุตสาหกรรมประเภทเบญจรงค์ และเซรามิก
- 3.5) อุตสาหกรรมประเภทฟอกย้อม ฟอกสี และสิ่งทอ
- 3.6) อุตสาหกรรมประเภทสิ่งพิมพ์
- 3.7) อุตสาหกรรมประเภทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 3.8) อุตสาหกรรมประเภทล้างทำความสะอาดโลหะ และเครื่องจักร
- 3.9) อุตสาหกรรมประเภทบรรจุตัวทำลาย และเคมีภัณฑ์
- 3.10) อุตสาหกรรม ประเภทผลิตปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยากำจัดศัตรูพืช
- 3.11) อุตสาหกรรมประเภทบำบัดคัดแยกกากของเสีย และการจัดการของเสียชุมชน
- 3.12) อุตสาหกรรมประเภทซักรีด

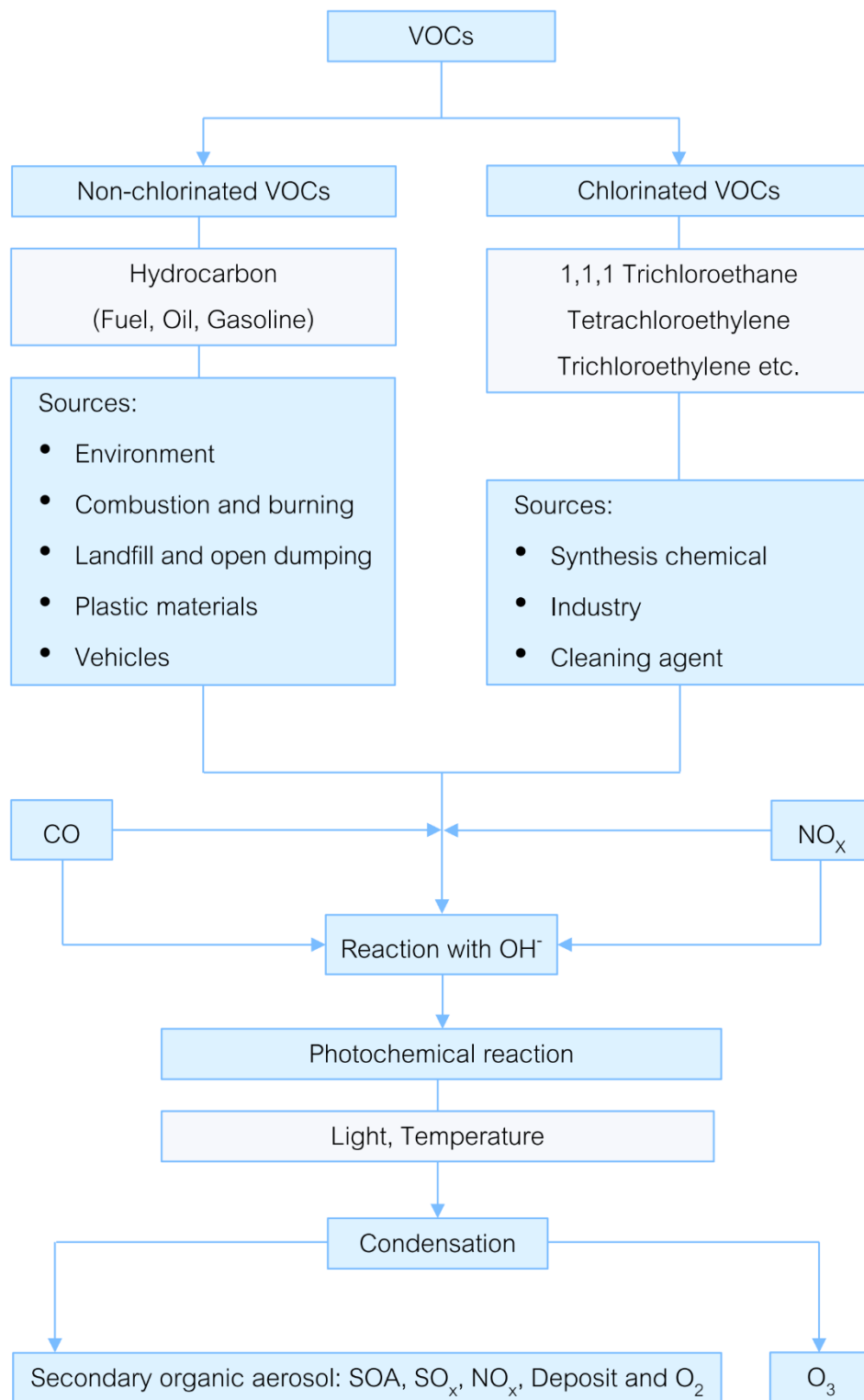
ความกังวลเกี่ยวกับปัญหากลิ่นอยู่บ่อยครั้ง เมื่อมีการใช้สารอินทรีย์ระเหยง่ายในหลายภาคส่วน ซึ่งความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดข้อร้องเรียนมากที่สุดโดยส่งผลกระทบต่ออารมณ์และจิตใจของมนุษย์ สารอินทรีย์ระเหยง่ายพบได้ในสิ่งของในชีวิตประจำวัน เช่น กาว สีทาบ้าน ควันบุหรี่ สารฟอกขาว และตัวทำลายหมึกพิมพ์ น้ำยาซักแห้ง และสีพ่นรถยนต์ ยาฆ่าแมลง สีย้อมผม และน้ำมันเบนซิน อากาศ น้ำดื่ม เครื่องดื่ม และอาหารปนเปื้อนเป็นตัวอย่างทั่วไปของสารเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้ ในทางกลับกัน ไอระเหยของสารอินทรีย์จะสะสมใน



ร่างกาย จะมีผลกระทบต่อทางชีวภาพและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายยังกระจายตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศอย่างกว้างขวาง ชั้นโอโซนที่ได้รับผลกระทบใกล้พื้นดินยังสามารถเกิดหมอกควันแบบโฟโตเคมีคอลได้ (Photochemical smog) แสดงดังภาพประกอบ 4 ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่นละออง และออกซิเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยปกติโอโซนที่อยู่ในบรรยากาศชั้นสูง จะช่วยทำหน้าที่ในการกรองแสงอัลตราไวโอเล็ต ความยาวคลื่นสั้นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตไม่ให้เกิดสู่พื้นโลก แต่เมื่อโอโซนอยู่ในบรรยากาศโทรโพสเฟียร์หรือชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลก หากได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นระยะเวลาานาน จะส่งผลให้เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เกิดความเป็นอันตรายต่อสุขภาพและความผิดปกติของร่างกาย ได้แก่ อาการระคายเคืองเยื่อเมือกทางเดินหายใจ เวลานาน เนื้อเยื่อปอดจะถูกทำลายอย่างถาวร และมีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์

### 5.1 คุณสมบัติของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีจุดเดือดต่ำระหว่าง 50-100 องศาเซลเซียส และอยู่ระหว่าง 240-260 องศาเซลเซียส มีความดันไอมากกว่า 0.14 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ รวมถึงมีจำนวนคาร์บอน 1-12 อะตอม สามารถระเหยเป็นไอหรือแก๊สได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง มีสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีและมีกลิ่นเฉพาะ อย่างไรก็ตาม สารอินทรีย์ระเหยง่ายในแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เช่น อายุการแขวนลอยหรือคงตัวอยู่ในบรรยากาศ ลักษณะแหล่งกำเนิด และจุดเดือดที่แตกต่างกัน แสดงดังตาราง 1 และ ตาราง 2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4 การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายและ Photochemical smog reaction

ตาราง 1 อายุในชั้นบรรยากาศและลักษณะแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ชนิด	อายุในบรรยากาศ	ลักษณะแหล่งกำเนิด
Acetylene	15 วัน	Vehicle emissions and biomass burning
Benzene	10 วัน	Industrial emissions, vehicle emissions, biomass burning and landfill
Ethane	1.5 เดือน	Natural gas and biomass burning
Ethene	1 วัน	Vehicle emissions
Ethanol	4 วัน	Landfill and plants biofuel
Ethylbenzene	1.6 วัน	Petroleum and manufactured products
Ethylene	4 วัน	Natural gas and petroleum
Formaldehyde	1 วัน	VOC oxidation and biomass burning
iso/n-Butane	5 วัน	Vehicle emissions and gasoline evaporation
iso/n-Pentane	3 วัน	
Isoprene	3 ชั่วโมง	ปาล์มน้ำมัน ( <i>Elaeis</i> ) ยูคาลิปตัส ( <i>Eucalyptus</i> ) มะพร้าว ( <i>Cocos</i> ) พืชตระกูลหลิ้ว ( <i>Salix</i> ) และ พืช ตระกูลสน ( <i>Casuarina</i> )
Methanol	12 วัน	Plants, landfill and VOC oxidation
Propane	11 วัน	Liquefied petroleum gas and natural gas
Styrene	4.9 ชั่วโมง	Vehicle exhaust, cigarette smoke and other forms of combustion
Toluene	2 วัน	Solvents, vehicle emissions and landfill
o-Xylene	20.3 ชั่วโมง	Petroleum, coal tar and is a constituent of smoke from most combustion sources
p-Xylene	19.4 ชั่วโมง	
m-Xylene	11.8 ชั่วโมง	

ที่มา: The chemical abstracts service (2000)

ตาราง 2 จุดเดือดสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด

Chemical compounds	CAS NO.	Boiling point (°C)	Chemical compounds	CAS NO.	Boiling point (°C)
<b>Aromatic hydrocarbon</b>			<b>Aldehydes</b>		
Benzene	71-43-2	80.1	Butanal	123-72-8	76
Toluene	108-88-3	111	Pantanal	110-62-3	103
Ethylbenzene	100-41-4	136.2	Hexanal	66-25-1	129
m/p-Xylene	108-38-3	139.1	Nonanal	124-19-6	190-192
o-Xylene	95-4 7-6	144	Benzaldehyde	100-52-7	179
n-Propyl benzene	103-65-1	159	<b>Ketones</b>		
1,2,4-Trimethyibenzene	95-63-6	169.4	Methyl ethyl ketone	78-93-3	8
1,3,5-Trimethyibenzene	108-67-8	165	Methyl isobutyl ketone	108-10-1	116.8
2-Ethyltoluene	611-14-3	165.2	Cyclohexanone	108-94-1	155.6
Styrene	100-42-5	145.2	Acetophenone	98-86-2	202
Naphthalene	91-20-3	218	<b>Acids</b>		
<b>Aliphatic hydrocarbons</b>			1-Decane	872-05-09	170.5
n-Hexane	110-54-3	69	<b>Cycloalkanes</b>		
n-Heptane	142-82-5	98.4	Methylcyclohexane	96-37-7	71.8
n-Octane	111-65-9	125.7	Cyclohexane	100-82-7	81
n-Nonane	111-84-2	150.8	Methylcyclohexane	100-87-2	101
n-Decane	124-18-5	174.1	<b>Alcohols</b>		
n-Undecane	1120-214	196	2-Propanol	67-63-0	82.4
n-Dodecane	112-40-3	216.3	1-Butanol	71-36-3	118
n-Tridecane	629-50-5	235.4	2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	182
n-Hexadecane	544-76-3	287	<b>Ester</b>		
2-Methylpentane	107-83-5	60.3	Ethyl acerate	141-78-6	77
3-Methylpentane	96-14-0	63.3	Butyl acetate	123-86-4	126.5

ที่มา: The chemical abstracts service (2000)

## 5.2 ข้อควรทราบเกี่ยวกับสารอินทรีย์ระเหยง่าย

5.2.1 สารประกอบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) กรดคาร์บอนิก (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) โลหะคาร์บอเนตและคาร์ไบด์ (CaCl<sub>2</sub>) และแอมโมเนียคาร์บอเนต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) สารเหล่านี้ไม่จัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากเป็นสารอนินทรีย์ และเกิดปฏิกิริยา Photochemical smog ได้ต่ำในบรรยากาศ

5.2.2 ไอของสารอินทรีย์ระเหยง่าย เรียกว่า Off gassing ซึ่งแปลว่า ไอน้ำ (Vapor)

5.2.3 การเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ จากสถานะของแข็งหรือของเหลวเป็นไอของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งอาจมีความหมายรวมถึงการแพร่ (Diffusion) หรือการกระจายของไอ (Scattering)

5.2.4 โดยปกติสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะคงอยู่ในบรรยากาศเป็นระยะเวลาไม่นาน เนื่องจากถูกย่อยสลายตามธรรมชาติด้วยจุลินทรีย์และแสงแดด ซึ่งมีส่วนสำคัญเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา Photochemical smog

5.2.5 สารประกอบมีเทน เป็นสารประกอบอินทรีย์ โดยหน่วยงานกำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อมของภาครัฐ มีการแยกสารประกอบมีเทนออกจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดอื่น ๆ ด้วยเหตุผลหลายประการ ได้แก่ เกิดปฏิกิริยา Photochemical smog ต่ำ และไม่มีส่วนช่วยในการสร้างโอโซนระดับพื้นดินมากเท่ากับสารอินทรีย์ระเหยง่าย แต่มีส่วนสนับสนุนโดยตรงอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งปัจจุบันชีวิตประจำวันของมนุษย์อาจได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ ตัว เกิดการระเหยมาจากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง อาทิ ควันจากท่อไอเสียของยานพาหนะ สีทาบ้าน ควันจากบุหรี่ น้ำยาทาเล็บ สารซักล้าง ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม น้ำยาฟอกสี น้ำยาล้างเล็บ น้ำยาสำหรับย้อมผมและตัดผม ยาฆ่าแมลง กาว และสารยึดติดที่เกิดจากการเผาไหม้และปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศ อาหารและเครื่องดื่ม

### 5.3 กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทที่ไม่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Non-chlorinated VOCs or Non-halogenated hydrocarbons)

5.3.1 สารกลุ่มอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ แอลเคน แอลคีน และแอลไคน์ ที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายโซ่เปิด อาจจะต่อกันเป็นสายยาวไม่มีกิ่ง เรียกว่า โซ่ตรง หรือต่อกับคาร์บอนในสายยาว เรียกว่า โซ่กิ่ง เช่น สารเฮกเซน พาราฟิน และกรดไขมัน (Fatty acid) เป็นต้น

5.3.2 สารกลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่มมีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจน และคาร์บอน ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ เช่น เบนซีน โทลูอีน ไอโซเมอร์ของโซลีน และเอทิลเบนซีน

5.3.3 กลุ่มออกซิเจน หมายถึง กลุ่มสารอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น อะซิโตน คีโตน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ เอมีน เอไมด์ และกรดอินทรีย์

สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่ไม่มีธาตุฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ แสดงตัวอย่างดังตาราง 3 มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ การเทกองขยะ หลุมฝังกลบขยะ พลาสติกและวัสดุต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมที่เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของคนงานในบริเวณพื้นที่ มักพบว่าคนที่อยู่ในบริเวณพื้นที่มีปัญหาสุขภาพด้วยโรคระบบทางเดินหายใจบ่อยครั้ง เนื่องจากร่างกายได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่าย ประมาณ 144 ชนิด เป็นสารจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงในรูปของเบนซีน โทลูอีน แนฟทาลีน โพรพิน สไตรีน 1,3 บิวทาไดอีน และอนุพันธ์ของเบนซีน รวมกันในปริมาณสูงถึงร้อยละ 78 ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมดที่สามารถตรวจวัดได้ และจำนวนสารอินทรีย์ระเหยง่าย 28 ชนิด ที่พบการปนเปื้อนในบรรยากาศที่ถูกตรวจวัดและเฝ้าระวังใน 29 เมืองของประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายยังก่อให้เกิดโอโซนในระดับพื้นผิวโลก สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์ได้อย่างรุนแรง ทำให้สิ่งก่อสร้าง ผุกร่อน ชำรุด เกิดเป็นตัวพอกสี และยังมีผลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นตัวการสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา Photochemical smog ในบรรยากาศ (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์, 2552)



ตาราง 3 ตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่ไม่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ

Non-halogenated hydrocarbons		
Isopentane	m&p Xylene	1,2,4-Trimethylpentene
n-Butane	2-Methylpentane	Propylene
Toluene	Isobutene	2-Methylhexane
Propane	Acetylene	o-Xylene
Ethane	Benzene	2,2,4- Trimethylbenzene
n-Pentane	n-Hexane, 2-Ethyl-1-butene	Methyl cyclopentane
Ethylene	3-Methylpentane	2-Methylpropane, 1-Butene
Ethylbenzene	m-Ethyl toluene	n-Heptane

#### 5.4 กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทที่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Chlorinated VOCs or Halogenated hydrocarbons)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบมีสูตรทั่วไป คือ R-X (กำหนดให้ R แทนหมู่แอลคิลหรือหมู่เบนซิล และ X แทนธาตุฮาโลเจน ได้แก่ F, I, Br และ Cl) สารกลุ่มนี้เป็นกลุ่มสารเคมีสังเคราะห์ในอุตสาหกรรม มีความเสถียร มีความเป็นพิษและสะสมในสิ่งแวดล้อมได้ยาวนานกว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่ไม่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีพันธะเคมีระหว่างคาร์บอนกับฮาโลเจนที่มีความแข็งแรง ทำให้ยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบแสดงดังตาราง 4

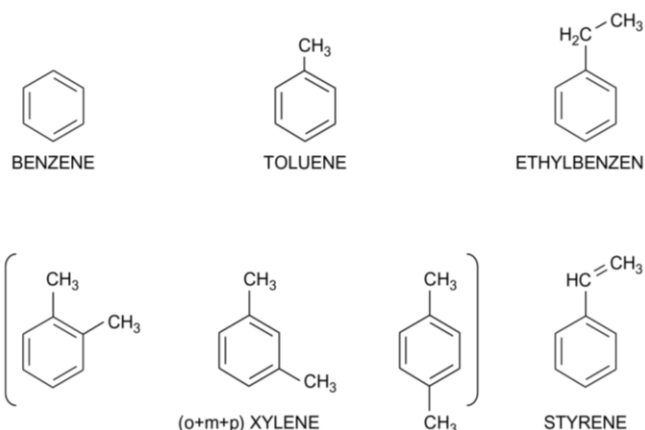
สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ จะรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมหรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ และมีฤทธิ์ก่อมะเร็งหรือกระตุ้นให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิตได้ สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความสำคัญและสามารถพบได้โดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อม คือ ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene: TCE) ที่ใช้เป็นตัวทำละลายและส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ซักล้างและทำความสะอาดในครัวเรือน โดยเฉพาะน้ำยาซักแห้ง น้ำยาทำความสะอาดพื้น น้ำยาละลายคราบไขมันและน้ำมัน โดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International agency for research on cancer: IARC) และองค์การอนามัยโลก (World health organization: WHO) ได้ระบุว่าไตรคลอโรเอทิลีน จัดเป็นกลุ่มสารที่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง (2A, Probably carcinogenic to humans) (Duffus, 2007)

ตาราง 4 ตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มที่มีธาตุหรือหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ

Halogenated hydrocarbons		
1,1,1,2-Tetrachloroethane	Bromoform	Glycerol trichlorohydrin
1,1,1-Trichloroethane	Bromomethane	Hexachlorobutadiene
1,1,2,2-Tetrachloroethane	Carbon tetrachloride	Hexachlorocyclopentadiene
1,1,2,-Tetrachloroethane	Chlorodibromomethane	Hexachloroethane
1,1-Dichloroethane	Chloroethane	Methylene chloride
1,1-Dichloroethylene	Chloroform	Neoprene
1,2,2-Trifluoroethane	Chloromethane	Pentachloroethane
1,2-Dichloroethane	Chloropropane	Perchloroethylene
1,2-Dichloropropane	cis-1,2-Dichloroethylene	Propylene dichloride
1,2-Dichloroethylene	cis-1,3-Dichloropropane	Trichlorotrifluoroethane
1,3-cis-Dichloro-1-propane	Dibromchloropropane	Monochlorobenzene
1,3-trans-Dichloropropane	Dobromomethane	Perchloroethylene (PCE)
1-Chloro-2-propane	Dichlorobromomethane	Trichloroethylene (TCE)
2-Butylene dichloride	Dichloromethane (DCM)	Vinyl chloride
Acetylene tetrachloride	Ethylene dibromide	Vinyl trichloride
Bromodichloromethane	Fluortrichloromethane	Vinylidene chloride

### 5.5 สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม BTEXS

BTEXS เป็นชื่อย่อของกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน แบ่งเป็น 3 ไอโซเมอร์ คือ เมตา-ไซลีน (m-Xylenes) พารา-ไซลีน (p-Xylenes) ออร์โธ-ไซลีน (o-Xylene) และสไตรีน ซึ่งแบ่งตามลักษณะโมเลกุล จัดเป็นสารกลุ่ม Non-halogenated hydrocarbon สารกลุ่มนี้มีการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย และเป็นองค์ประกอบของน้ำมันปิโตรเลียมโดยเฉพาะน้ำมันเบนซินและเชื้อเพลิงอื่น ๆ มีคุณสมบัติจำเพาะมีความสามารถละลายน้ำสูง (152-1,780 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอินทรีย์อื่น ๆ (0.004 ถึง 1,230 มิลลิกรัมต่อลิตร) จึงสามารถเคลื่อนย้ายไปยังตัวกลางอื่น ๆ ได้ง่าย เช่น ดินและน้ำ สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มนี้มีสถานะเป็นของเหลวไม่มีสี โครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม BTEXS แสดงดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 โครงสร้างทางเคมีของ BTEXS

ที่มา: López-Feria, Cárdenas, and Valcárcel (2010)

### 5.5.1 เบนซีน (Benzene)

เบนซีนเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะเป็นวงแหวนหกเหลี่ยม เชื่อมพันธะคาร์บอนระหว่างอะตอมด้วยพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว สูตรโมเลกุล คือ  $C_6H_6$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 78.11 กรัมต่อโมล ลักษณะทางกายภาพของเบนซีน เป็นของเหลวไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย มีกลิ่นเฉพาะตัวแบบอะโรมาติก มีจุดเดือด 80 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 5.5 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเป็นสารไม่มีขั้ว (Non-polar) จึงมีความสามารถละลายน้ำต่ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และอะซิโตน มีค่าความดันไอ (Vapor pressure) เท่ากับ 95.2 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เบนซีนจึงจัดเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายใน ความดันและบรรยากาศปกติ การสลายตัวทางธรรมชาติก่อให้เกิดอันตราย และสามารถออกซิไดส์กับสารอื่น ๆ ในธรรมชาติ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ อัลดีไฮด์ และคีโตน

แหล่งกำเนิดของเบนซีน เกิดได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและเกิดจากอุตสาหกรรม โดยการกระทำของมนุษย์ ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้เบนซีนเป็นสารตั้งต้น สารเติมแต่ง และเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งเป็นตัวกลางในการผลิตวัสดุชนิดต่าง ๆ อาทิ อุตสาหกรรมยางสังเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่น สีย้อม ผงซักฟอก และยาฆ่าแมลง นอกจากนี้ แหล่งกำเนิดจากเบนซีนธรรมชาติเกิดจากภูเขาไฟระเบิดและไฟไหม้ป่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ เครื่องยนต์ คานบูหรี่ น้ำมันปิโตรเลียม และการประกอบอาหาร ล้วนเป็นแหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายของสารเบนซีนสู่ชั้นบรรยากาศ

เบนซีน มีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) ประมาณ 1-2 วัน โดยปกติร่างกายของมนุษย์ หากสูดดมหรือหายใจเอาเบนซีนที่ปนเปื้อนในบรรยากาศ 0.1-10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ร่างกาย จะมีกลไกสามารถกำจัดสารเบนซีนภายใน 48 ชั่วโมง หลังการได้รับสัมผัส ซึ่งจะขับสารพิษ บางส่วนออกมาพร้อมกับกระบวนการหายใจ และระบบขับถ่ายในรูปของปัสสาวะ อย่างไรก็ตาม การได้รับสัมผัสสารเบนซีนผ่านทางหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ (Respiration uptake) เป็นเส้นทางสำคัญในการรับสารพิษสู่ร่างกายของมนุษย์ ปริมาณที่ส่งผลต่อร่างกาย 50-20,000 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) โดยเริ่มส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและระบบหมุนเวียนโลหิต อาการที่พบ ได้แก่ อาการมึนงง วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ ระคายเคืองเยื่อปอดและ ระคายเคืองผิวหนัง รวมถึงเป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกาย (Cytotoxicity) นอกจากนี้เบนซีนยังเป็น สารที่ทำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) และเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) ในมนุษย์ได้ด้วย

ทั้งนี้เบนซีนยังจัดเป็นกลุ่มสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์หากได้รับสัมผัส อย่างต่อเนื่องจนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดปกติต่อระบบเนื้อเยื่อฮีมาโทโปอิก (Hematopoietic tissue system) หรือเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือด ส่งผลให้ปริมาณของ เซลล์เม็ดเลือดแดงและเซลล์เม็ดเลือดขาวลดลง รวมถึงเกล็ดเลือดต่ำ (Thrombocytopenia) นำไปสู่โรคมะเร็งกระดูกและไขสันหลัง (Multiple myeloma) นำไปสู่โรคโลหิตจางจากไขกระดูกฝ่อ (Aplastic anemia) และเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดเฉียบพลัน (Acute non-lymphocytic leukemia: ANLL) เบนซีนสามารถเข้าสู่ร่างกายและสามารถเปลี่ยนแปลงเป็น สารเมตาโบไลต์ที่ว่องไว (Reactive metabolites) และรวมกับอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีน ส่งผลต่อความเป็นพิษของเนื้อเยื่อและเซลล์ภายในร่างกาย อาทิ เนื้อเยื่อ ฮีมาโทโปอิก ตับ และปอด ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและสูญเสียสมรรถภาพการทำงานและ สามารถเกิดเป็นสารก่อมะเร็งได้ (United states department of health human services, 2005) ขณะเดียวกันสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา หรือ US EPA ได้ทำการประมาณการว่า หากได้รับสารเบนซีนทางการหายใจต่อเนื่องที่ 0.13-0.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตลอดช่วง อายุเฉลี่ยตลอดชีวิต พบว่ามีค่าไม่เกินเกณฑ์ยอมรับหรือหนึ่งในล้านที่เบนซีนจะเพิ่มโอกาส การก่อมะเร็งในมนุษย์

### 5.5.2 โทลูอีน (Toluene)

โทลูอีน หรือเมทิลเบนซีน (Methylbenzene) เป็นอนุพันธ์ของเบนซีนที่มีหมู่ แทนที่บนวงแหวนเบนซีน มีสูตรโมเลกุล คือ  $C_7H_8$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 92.15 กรัมต่อโมล มีจุดเดือด 110.6 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว -93 องศาเซลเซียส โทลูอีนมีลักษณะเป็น

ของเหลวไม่มีสี มีสมบัติไวไฟสูง และระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องและสภาวะบรรยากาศมาตรฐาน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งโทลูอีนมีความดันไอเท่ากับ 28.4 มิลลิเมตรปรอท โดยมนุษย์สามารถตรวจจับกลิ่นของโทลูอีนในอากาศได้เมื่อความเข้มข้นสูง 8 ส่วนในล้านส่วนบรรยากาศ สำนักงานทะเบียนสารพิษและโรค (ATSDR) ได้กำหนดเกณฑ์ของโทลูอีนที่มนุษย์สามารถรับรู้กลิ่น (Odor threshold) ที่ 2.9 ส่วนในล้านส่วนบรรยากาศ โทลูอีนมีความสามารถละลายน้ำได้ไม่ดีหรือละลายได้เพียงเล็กน้อย แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ โทลูอีนคงตัวและแขวนลอยในบรรยากาศระยะเวลา 2-3 วัน ก่อให้เกิดสารอันตรายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ออกไซด์ของคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นต้น

แหล่งกำเนิดของโทลูอีน เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมและจากการกระทำของมนุษย์เป็นหลัก เช่น กระบวนการผลิตน้ำมันปิโตรเลียม นิยมใช้โทลูอีนเป็นส่วนผสมหลักของน้ำมันเบนซิน เพื่อปรับค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน นอกจากนี้โทลูอีนยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมตัวทำละลายและใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตเช่น อุตสาหกรรมสี ทินเนอร์ น้ำยาล้างเล็บ แลคเกอร์ กาว ยาง การฟอกหนัง และขั้นตอนการผลิตพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ จำพวกไนลอน โพลีเอทิลีน และโพลียูรีเทน เป็นต้น นอกจากนี้โทลูอีนยังสามารถเกิดได้จากกระบวนการที่เกิดขึ้นด้วยกระทำของมนุษย์ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การก่อสร้างและตกแต่งสี การเผาไหม้เชื้อเพลิง ยานพาหนะ ควั่นจากการสูบบุหรี่ หรือผลิตภัณฑ์ซักล้างในครัวเรือนที่มีโทลูอีนเป็นองค์ประกอบ กิจกรรมข้างต้นล้วนเป็นแหล่งกำเนิดหลักในการแพร่กระจายโทลูอีนสู่บรรยากาศ

การได้รับสัมผัสโทลูอีนผ่านการหายใจ เป็นเส้นทางที่สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้อย่างรวดเร็ว และแพร่กระจายผ่านระบบหมุนเวียนโลหิต ไปสะสมบริเวณสมอง ตับ ปอด และอวัยวะอื่น ๆ ที่มีเนื้อเยื่อไขมันเป็นองค์ประกอบ การสัมผัสกับไอระเหยของโทลูอีนอาจส่งผลหลายอย่างต่อร่างกายในระยะสั้น โดยอาการหรือผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณระยะเวลาที่รับสัมผัส และภาวะทางสุขภาพของแต่ละบุคคลการสูดดมโทลูอีนที่มีความเข้มข้นสูง อาจทำให้เกิดอาการต่าง ๆ เช่น เกิดความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system: CNS) ทำให้เกิดการปวดศีรษะ สับสน มึนงง และคลื่นไส้ การได้รับโทลูอีนเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบประสาทส่วนกลาง นำไปสู่อาการต่าง ๆ เช่น การสูญเสียความทรงจำ สมาธิสั้น การประสานของระบบประสาทบกพร่อง นอกจากนี้ยังอาจส่งผลต่อตับและไต โดยทั่วไปเมื่อมนุษย์ได้รับโทลูอีนเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของร่างกายเพื่อเปลี่ยนโทลูอีนให้อยู่ในรูปของสารที่มีความเป็นพิษลดลง จากนั้นร่างกายจึงมีกลไก

การขั้บถ่ายสารพิษออกจากร่างกายภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งร่างกายอาจขั้บถ่ายสารพิษในรูปของยูเรียผ่านทางระบบขั้บถ่าย และสารพิษที่ร่างกายไม่สามารถขั้บออกมาได้ บางส่วนจะถูกขั้บออกผ่านทางปอดพร้อมกับกระบวนการหายใจการสูดดมโทลูอีนในระดับสูงอาจส่งผลให้เกิดการกดการหายใจอย่างรุนแรง หัวใจเต้นผิดจังหวะ และภาวะแทรกซ้อนทางสุขภาพอื่น ๆ ที่ร้ายแรง

### 5.5.3 เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)

เอทิลเบนซีน เป็นสารในกลุ่มอนุพันธ์ของเบนซีนที่มีหมู่เอทิล ( $-CH_2CH_3$ ) ซึ่งเป็นหมู่แทนที่เกาะอยู่บนวงแหวนเบนซีน สูตรโมเลกุล คือ  $C_8H_{10}$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 106.16 กรัมต่อโมล มีจุดเดือด 136 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่  $-95$  องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ติดไฟได้ง่าย ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายประเภทอีเทอร์ แอลกอฮอล์ และเบนซีน เอทิลเบนซีนส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการอัลคิเลชันของเบนซีนด้วยเอทิลีน สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคไอ แต่กระบวนการทำในวัฏภาคของเหลวเป็นที่นิยมมากกว่า

เอทิลเบนซีนจัดเป็นสารประกอบทางเคมีที่พบได้ทั่วไปในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและการค้าต่าง ๆ รวมถึงสี สารเคลือบ กาว และเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดหลักของเอทิลเบนซีนมาจากการเผาไหม้ทางธรรมชาติ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ยานพาหนะ เครื่องจักร และกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เอทิลเบนซีนที่ผลิตได้การได้รับสารเอทิลเบนซีนผ่านกระบวนการหายใจ ทำให้เกิดการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วไปยังเนื้อเยื่อไขมัน เกิดการสะสมในตับและไตเกือบ 99% องค์การระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยโรคมะเร็ง (IARC) ได้จัดให้เอทิลเบนซีนอยู่ในกลุ่ม 2B ซึ่งหมายความว่าอาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ หากได้รับเอทิลเบนซีน ร่างกายจะสามารถกำจัดสารพิษผ่านกระบวนการขั้บของเสียในรูปของยูเรีย โดยในช่วงที่เกิดเอทิลเบนซีนขึ้นอย่างรวดเร็วมีค่าครึ่งชีวิต 3.1 ชั่วโมง และช่วงที่เกิดขึ้นช้ามีค่าครึ่งชีวิต 25 ชั่วโมง และขั้บถ่ายสารพิษออกผ่านกระบวนการหายใจในระยะเวลา 6-10 ชั่วโมง หลังจากได้รับสารเอทิลเบนซีน ซึ่งเป็นกลไกที่เกิดขึ้นมากกว่าการขั้บถ่ายสารพิษผ่านทางตับและอุจจาระ การสูดดมไอเอทิลเบนซีนในปริมาณสูงอาจทำให้เกิดอาการต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจและระบบประสาทส่วนกลาง เช่น ปวดศีรษะ วิงเวียน อ่อนเพลีย คลื่นไส้ ระคายเคืองตาและคอ และในกรณีที่รุนแรงอาจทำให้หมดสติได้

การได้รับสัมผัสสารเอทิลเบนซีน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์แบบเฉียบพลัน กล่าวคือ ก่อให้เกิดการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ ระคายเคืองบริเวณ



ลำคอ แน่นหน้าอก ระคายเคืองเยื่อปอดตา วิงเวียนศีรษะ และส่งผลกระทบต่อระบบประสาท นอกจากนี้การศึกษาในสัตว์ทดลองเมื่อได้รับสารเอทิลเบนซีนผ่านกระบวนการหายใจ จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ความผิดปกติของปอด ตับ และไตอีกด้วย และเมื่อได้รับสารข้างต้นเป็นระยะเวลาเวลานาน จะส่งผลกระทบต่อแบบเรื้อรังในรูปแบบความเสี่ยงที่ไม่ก่อมะเร็ง (Non-cancer risk) ได้แก่ ความผิดปกติภายในหูและการรับเสียงที่ผิดปกติ ความผิดปกติของไต และความผิดปกติของระบบหมุนเวียนโลหิต

#### 5.5.4 ไซลีน (Xylenes)

ไซลีน จัดเป็นสารกลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วย 3 ไอโซเมอร์ ได้แก่ ไซลีนที่มีโครงสร้างหมู่เมทิล 2 หมู่ ซึ่งเป็นหมู่แทนที่บนวงแหวนเบนซีนในตำแหน่งออร์โธ (o) เมตา (m) และพารา (p) โดยทั่วไปไซลีนผสมจะประกอบด้วยสัดส่วนของเมตา-ไซลีน (m-xylene) ร้อยละ 40-65 ออร์โธ-ไซลีน พารา-ไซลีน และเอทิลเบนซีน สัดส่วนมากกว่าร้อยละ 20 สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบออกไซด์ได้ดี ไซลีนมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี ติดไฟง่าย มีกลิ่นฉุน มีน้ำหนักเบากว่าน้ำสามารถระเหยได้ในอุณหภูมิและบรรยากาศปกติ สูตรโมเลกุล คือ  $C_8H_{10}$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 106.17 กรัมต่อโมล มีจุดเดือดที่ 138.8 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 30 องศาเซลเซียส โดยไซลีนผสมมีค่าความดันไอเท่ากับ 6.72 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียสมีความสามารถละลายน้ำต่ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และตัวทำละลายอินทรีย์ การรับรู้กลิ่นมนุษย์สามารถรับรู้กลิ่นของไซลีนในอากาศที่ระดับความเข้มข้น 0.08-3.7 ส่วนในล้านส่วนอากาศ แหล่งกำเนิดของไซลีน พบได้ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและน้ำมันเชื้อเพลิง นิยมใช้เป็น ตัวทำละลายอุตสาหกรรมเคลือบสี กาว ยาง หมึกพิมพ์ เครื่องหนัง น้ำมันไร้สารตะกั่ว และใช้เป็น ตัวทำละลายสลายคราบและไขมัน

การรับสัมผัสไซลีนเข้าสู่ร่างกายผ่านกระบวนการหายใจ จะแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อที่มีปริมาณไขมันสะสมอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อเยื่อไขมันและสมอง กระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย เมื่อได้รับไซลีนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่แทนที่ โดยเฮพาทิก ไฮโดรโครม P450 เปลี่ยนไซลีนให้อยู่ในรูปของกรดเมทิลเบนโซอิก (Methyl benzoic acid) แต่หากร่างกายได้รับในปริมาณมาก จะเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตและระบบน้ำเหลือง ซึ่งจะลำเลียงไปยังอวัยวะเป้าหมายและเนื้อเยื่อที่มีปริมาณไขมันสะสมทั่วบริเวณร่างกาย ซึ่งต้องใช้เวลาในการขับสารพิษนี้ออกจากร่างกาย ปัจจุบันข้อมูลจาก IARC พบว่ายังไม่พบข้อมูลหรือหลักฐานการก่อมะเร็งในมนุษย์ แต่ทำให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพทั้งชนิดแบบเฉียบพลันและเรื้อรังได้

### 5.5.5 สไตรีน (Styrene)

สไตรีน เป็นโมโนเมอร์ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) ของเอทิลเบนซีน ที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส จากนั้นจะยับยั้งสไตรีนเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) โดยปกติมักใช้เป็นสารยับยั้งในกระบวนการผลิต เช่น SFR (Stable free radical) เพื่อแยกเป็นสไตรีนโมโนเมอร์บริสุทธิ์ และกระบวนการผลิตสไตรีนโมโนเมอร์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของเอทิลเบนซีน โดยการออกซิไดส์เป็นเอทิลเบนซีนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Ethylbenzene hydroperoxide) จะทำปฏิกิริยากับโพรพิลีน (Propylene) ได้เมทิลเบนซิลแอลกอฮอล์ (Methylbenzyl alcohol) และโพรพิลีนออกไซด์ (Propylene oxide) หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสไตรีนโมโนเมอร์บริสุทธิ์ด้วยปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) ด้วยการดึงไฮโดรเจนออกจากเอทิลเบนซีน ให้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำออกมาภายใต้อุณหภูมิ 350-577 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่หลายอุตสาหกรรมได้มีการนำสไตรีนมาใช้ในการผลิตโพลีสไตรีน (Polystyrene) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้แก่ โฟม กาว ยางสังเคราะห์ พลาสติก สี เคมีสิ่งทอ ปู่ยเคมี รองเท้า ฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์เสริมความแข็งแรง แผงวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พลาสติกสไตรีน อะคริลิกเรซิน เรซินโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว และสไตรีน-บิวทาไดอีน เป็นต้น

สไตรีนมีสูตรโมเลกุลคือ  $C_8H_8$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 104.14 กรัมต่อโมล มีจุดเดือด 145 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง -31 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ มีลักษณะเป็นของเหลว หนืดเยิ้มคล้ายกับน้ำมัน (Oily liquid) มีสีเหลืองอ่อนหรือไม่มีสี มีกลิ่นฉุนในบรรยากาศ เมื่อถูกแสงจะรวมตัวอย่างช้า ๆ กลายเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (Polymerization) เกิดเป็นสไตรีน มีคุณสมบัติเป็นพลาสติกที่แข็งแรง ใส เหนียว เป็นฉนวนที่หักเหแสงได้เป็นอย่างดี และมีราคาถูก จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามสไตรีนสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ผ่านการรับไอระเหยของสไตรีนผ่านการหายใจและสัมผัสทางผิวหนัง จากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และสะสมในสมอง ตับ ไต ปอด ลำไส้เล็ก ถุงน้ำดี และเนื้อเยื่อไขมัน และยังสามารถส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาที่ตั้งครรภ์ได้ โดยปกติเมื่อได้รับสไตรีนร่างกายสามารถขับสารพิษออกจากร่างกายผ่านปัสสาวะร้อยละ 39 และขับออกผ่านทางตับ ร้อยละ 17 ตามลำดับ สไตรีนทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้ ทั้งชนิดแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยลักษณะและความรุนแรงของการเกิดพิษต่อร่างกายแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่ได้รับและระยะเวลาการสัมผัส ตลอดจนความสามารถในการขับสารพิษออกจากร่างกาย

ตัวอย่างผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับสไตรีน ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท เกิดความผิดปกติด้านความทรงจำและการรับรู้ชั่วคราว สมองสังการข้างลง เกิดอาการระคายเคือง บริเวณตา และตับถูกทำลาย อีกทั้งตรวจพบว่ากรดคอลลิก (Cholic acid) ในกระแสเลือดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้สไตรีนก่อให้เกิดอันตรายแบบเรื้อรัง อาจเกิดผลกระทบได้ทั้งทางตรงหรือทางอ้อม โดยการได้รับสารเป็นเวลานานติดต่อกันก่อให้เกิดการทำงานของโครโมโซมในเม็ดเลือดขาวของมนุษย์ ความผิดปกติของฮอร์โมน ความผิดปกติของเม็ดเลือดแดง และพบว่าทำให้เกิดการกลายพันธุ์ในสัตว์ทดลองได้

จากรายละเอียดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม BTEXS ข้างต้น สามารถสรุปผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสสัมผัสสาร แสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการสัมผัสสัมผัสสารกลุ่ม BTEXS

สารกลุ่ม BTEXS	อวัยวะที่ถูกทำลาย	อาการแสดง
เบนซีน (Benzene)	ระบบประสาทส่วนกลาง ระบบเนื้อเยื่อฮีมาโทพอยติก เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และไขกระดูก	<b>ชนิดเฉียบพลัน:</b> ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ มึนงง ซึม ปวดศีรษะ และชักกระตุก <b>ชนิดเรื้อรัง:</b> เกิดความผิดปกติในเลือด ไชกระดูกโลหิตจาง ไชกระดูกฝ่อ และเกิดมะเร็ง
โทลูอีน (Toluene)	ระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และไต	<b>ชนิดเฉียบพลัน:</b> ง่วงซึม อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ อาเจียน และหมดสติ <b>ชนิดเรื้อรัง:</b> สูญเสียการทรงตัว การพูด การได้ยิน การเคลื่อนไหว ระบบประสาท ตับและไตผิดปกติ
เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	ระบบประสาทและทางเดินหายใจ	<b>ชนิดเฉียบพลัน:</b> หัวใจเต้นผิดจังหวะ ระคายเคืองตาทางเดินหายใจ วิงเวียนศีรษะ และหมดสติ <b>ชนิดเรื้อรัง:</b> เกิดความผิดปกติภายในหูและไต
ไซลีน (Xylenes)	ระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และไต	<b>ชนิดเฉียบพลัน:</b> ระคายเคืองทางเดินหายใจ หายใจติดขัด หัวใจเต้นผิดปกติ คลื่นไส้และอาเจียน <b>ชนิดเรื้อรัง:</b> ระบบประสาทถูกทำลาย ตับ ไต และปอดเกิดความผิดปกติ
สไตรีน (Styrene)	ระบบประสาทส่วนกลาง ตับ และทางเดินหายใจ	<b>ชนิดเฉียบพลัน:</b> ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ และชักกระตุก <b>ชนิดเรื้อรัง:</b> ระบบประสาทและเซลล์เม็ดเลือดขาวเกิดความผิดปกติ

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2555)

เมื่อพิจารณาการบ่งชี้อันตรายของสารมลพิษที่อาจทำให้เกิดความอันตรายด้านลบต่อสุขภาพ ในแง่ความสามารถการเกิดมะเร็งของสารกลุ่ม BTEXS นั้น IARC ทำหน้าที่วิจัยจำแนกกลุ่ม และประเมินสารก่อมะเร็ง แสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 จำแนกความสามารถในการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองของสารกลุ่ม BTEXS

สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่ม BTEXS	การจัดกลุ่มโดย IARC	คำอธิบายลักษณะการเกิดมะเร็ง
เบนซีน (Benzene)	1	ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และมีหลักฐานเพียงพอ
โทลูอีน (Toluene)	3	ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอสมควรว่าสามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน และยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน
เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	2B	มีหลักฐานพอสมควรว่าสามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน
ไซลีน (Xylenes)	3	ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอสมควรว่าสามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน และยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน
สไตรีน (Styrene)	2B	มีหลักฐานพอสมควรว่าสามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน

ที่มา: Duffus (2007)

## 5.6 ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายจะส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน ระบบประสาท พันธุกรรม ระบบฮอร์โมนและระบบสืบพันธุ์ ปัจจุบันกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นสารที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตและกิจกรรมในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ส่งผลให้เกิดการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณค่อนข้างสูง โดยเป็นสาเหตุหนึ่งของมลภาวะด้านต่าง ๆ เช่น มลภาวะทางน้ำ มลภาวะทางดิน และมลภาวะทางอากาศ ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดโอโซนและหมอกควันในระดับพื้นดิน เมื่อทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์และแสงแดด สารมลพิษเหล่านี้สามารถเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ และส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพที่รุนแรง รวมถึงโอกาสในการเกิดมะเร็ง

ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจทั้งแบบเรื้อรังและเฉียบพลัน โดยประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่าย 9 ชนิด แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 ค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไป

ลำดับ	ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย	ค่ามาตรฐาน ในเวลา 1 ปี ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )	ค่ามาตรฐาน ในเวลา 24 ชั่วโมง ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )
1	เบนซีน (Benzene)	ไม่เกิน 1.7	ไม่เกิน 7.6
2	ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl chlororide)	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 20
3	1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	ไม่เกิน 0.4	ไม่เกิน 48
4	ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	ไม่เกิน 23	ไม่เกิน 130
5	ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	ไม่เกิน 22	ไม่เกิน 210
6	1,2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane)	ไม่เกิน 4	ไม่เกิน 82
7	เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400
8	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	ไม่เกิน 0.43	ไม่เกิน 57
9	1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene)	ไม่เกิน 0.33	ไม่เกิน 5.3

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (2550); กรมควบคุมมลพิษ (2552)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีจำนวนมากและมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน จึงส่งผลกระทบต่อในด้านต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.6.1 ผลกระทบด้านคุณภาพอากาศ

ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายยังเป็นสารตั้งต้นโดยมีแสงแดดและอุณหภูมิสูงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีบรรยากาศในกระบวนการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ และนำไปสู่การก่อตัวของหมอกควันที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เรียกว่า หมอกผสมควันแบบโฟโตเคมีคอล (Photochemical smog) เนื่องมาจากการรวมตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายไฮโดรคาร์บอน สารประกอบอะโรมาติก ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอนบางชนิด เช่น เอทิลีน โพรพิลีน และบิวทีน

ทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์และแสงแดดเพื่อสร้างไอโซนกับออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เกิดเป็นสารออกซิแดนต์ (Oxidant) ชนิดต่าง ๆ เช่น Aldehyde, Hydrogen peroxide และ Peroxyl acetyl nitrate โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดไอโซนซึ่งเป็นสารที่มีความเข้มข้นและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ นอกจากนี้หากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ อาจส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ สารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา Photochemical oxidants จะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ ทำให้เกิดไอโซนและมลสารอื่น ซึ่งเป็นสารมลพิษทางอากาศทุติยภูมิ (Secondary pollutants) คือ ไอโซนในบรรยากาศชั้นใกล้ผิวโลกเกิดจากปฏิกิริยา Photochemical oxidants ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่นละออง และออกซิเจน โดยทั่วไปสารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดบริเวณต่าง ๆ รวมถึงกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย อุตสาหกรรม ยานพาหนะ ตัวทำละลาย และการระเหยของเชื้อเพลิงและสารเคมี หากได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลานาน ทำให้เกิดความเจ็บป่วย เกิดอาการระคายเคืองบริเวณลำคอและหายใจไม่สะดวก เนื้อเยื่อบริเวณปอดจะถูกทำลายอย่างถาวร และมีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์โดยตรง ดังนั้นการควบคุมและลดการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการลดมลพิษทางอากาศและลดการก่อตัวของหมอกควันแบบโฟโตเคมีคอล ในการออกกฎหมายหรือกฎระเบียบที่เข้มงวดมากขึ้น การรณรงค์การใช้เทคโนโลยีที่สะอาด การส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำ และการส่งเสริมทางเลือกในการยานพาหนะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

#### 5.6.2 ผลกระทบด้านคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

เมื่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกปล่อยทิ้งหรือเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน หรืออาจเกิดจากน้ำฝนชะละลายสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในแหล่งน้ำผิวดิน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้น ซึ่งพืชและสัตว์น้ำไม่สามารถอยู่ได้ จึงส่งผลให้ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศในแหล่งน้ำลดลง บางกรณีมีการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านชั้นดินปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค น้ำบาดาล ปัญหาการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะสารอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทของสารที่แยกตัวจากน้ำที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (Nonaqueous phase liquids: NAPLs) สามารถพบได้ทางธรรมชาติ มีความหนืดต่ำมักเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวระนาบลงสู่ดิน และก่อให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในชั้นดินอุ้มน้ำ (Water saturated zone) เช่น ชั้นหิน



อุมน้ำใต้ดินหรือในชั้นดิน เช่นเดียวกับในสถานที่อุตสาหกรรมและเขตการค้าที่มีการรั่วไหลของสารดังกล่าว ได้แก่ ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล และน้ำมันดิบ) ตัวทำละลายคลอรีน (ไตรคลอโรเอทิลีนและเปอร์คลอโรเอทิลีน) และสารเคมีอินทรีย์ต่าง ๆ การปรากฏตัวของ NAPLs ในชั้นใต้ดินอาจมีนัยสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม สามารถปนเปื้อนน้ำใต้ดินและดินได้ เนื่องจากไม่สามารถผสมกับน้ำได้ NAPL สามารถสร้างเฟสของเหลวที่แยกจากกันและคงอยู่ในชั้นใต้ดินเป็นระยะเวลาอันยาวนาน นำไปสู่การปนเปื้อนในระยะยาว ของเหลวเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านใต้ผิวดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำดื่ม แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน และก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จึงส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพในระยะยาว ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน เป็นต้น เนื่องจากสารเหล่านี้มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำเมื่อมีการปนเปื้อนในน้ำมักจะลอยอยู่ส่วนบนของชั้นน้ำใต้ดิน และหากน้ำใต้ดินมีการไหลก็จะค่อย ๆ แพร่กระจายออกไปบริเวณกว้าง นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีการแยกตัวออกจากน้ำหรือมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ (Dense nonaqueous phase liquids: DNAPLs) โดยทั่วไปจะจมอยู่ในน้ำ มีความหนืดน้อย มีแรงตึงผิวต่ำ ทำให้สามารถเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้ง่ายกว่าน้ำมีคุณสมบัติระเหยง่ายเหมือนแก๊ส ทำให้สามารถเคลื่อนตัวไปในโซนที่ไม่อิ่มตัว สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งสารกลุ่มนี้บางชนิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลหรือมีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไตรคลอโรเอทิลีน และเตตระคลอโรเอทิลีน เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการนำสารเคมีเข้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม มีสมบัติในการละลายหรือสลายคราบไขมันจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ดี สารกลุ่ม DNAPLs จะมีความสามารถในการละลายสมบูรณ์และความสามารถในการย่อยสลายต่ำ ทำให้สามารถอยู่ในน้ำใต้ดินและก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินได้เป็นเวลานาน แต่ถึงแม้การละลายในน้ำใต้ดินเพียงเล็กน้อยก็เป็นปริมาณมากที่จะทำให้เกิดอันตราย และเกิดความเสียหายได้

### 5.6.3 ผลกระทบด้านคุณภาพดิน

เมื่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกปล่อยทิ้งหรือหกั่วไหลบนผิวดิน จะเคลื่อนที่ผ่านชั้นผิวน้ำดิน ซึ่งจะเกิดการดูดซับและสะสมไว้ในดิน นอกจากนี้เมื่อฝนตกจะชะล้างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่ชั้นดิน ทำให้ดินปนเปื้อนส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินและการใช้ประโยชน์ของดิน นอกจากนี้สารเคมีในกลุ่มยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช บางชนิดมีความคงทนในดินสูง เพราะสามารถแทรกตัวปนอยู่ในตะกอนหรือดินได้ดี

#### 5.6.4 ผลกระทบต่อพืชและระบบนิเวศ

สารอินทรีย์ระเหยง่ายอาจทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ทำลายคลอโรฟิลล์ และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มักจะทำให้พืชเกิดการแคระแกร็น มีการเจริญเติบโตช้าหรืออาจเกิดการตายได้ นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายยังมีส่วนทำให้ระบบนิเวศในธรรมชาติเกิดการเสียสมดุล เมื่อฝนตกจะชะสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษขึ้น ทำให้พืชและสัตว์ได้รับอันตรายจากการสะสมปนเปื้อนสารชนิดนี้ในระบบนิเวศ

#### 5.6.5 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ 3 ทางคือ การหายใจ การกินหรือกลืนเข้าทางปาก และการสัมผัสทางผิวหนัง เมื่อเข้าไปในร่างกายแล้วจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health effect) แตกต่างกันไป หลังจากการได้รับสารพิษชนิดต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกายจะลำเลียงเข้าสู่ตับ ซึ่งจะมีเอนไซม์และวิถีเมแทบอลิซึม (Metabolism) ที่แตกต่างกัน การทราบกลไกการเกิดสารพิษของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต้องอาศัยความรู้ด้านเภสัชวิทยาและพิษจลนศาสตร์ เช่น สารพิษถูกเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมในตับระยะแรก โดยอาศัยเอนไซม์ในกลุ่มของ Cytochrome P450 และในระยะหลังจะรวมตัวกับสาร Glutathione ชนิด P450 ที่ใช้ จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น เอนไซม์ชนิด CYP2E1 มีบทบาทต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของ Trichloroethylene จะกลายเป็น Chloral hydrate และถูกเอนไซม์ CYP2B เร่งปฏิกิริยา ในที่สุดจะถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของ Trichloroacetic acid

ปัจจัยที่ทำให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายเกิดอันตราย มีดังนี้

- 1) ช่วงค่าครึ่งชีวิตของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกระแสเลือด สามารถบ่งบอกประวัติการได้รับสารเคมี หรือการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายในประชากรได้
- 2) สภาพะปฏิกายในร่างกาย หรือสภาวะความสมบูรณ์แข็งแรงของร่างกาย และปฏิกิริยาชีวเคมีทางเมแทบอลิซึมในร่างกาย จะแปรสภาพให้เป็นพิษมากขึ้นหรือน้อยลงได้
- 3) ปริมาณแอลกอฮอล์หรือสารเคมีอื่นในกระแสเลือด จากการดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ จะเพิ่มการดูดซึมและเพิ่มระดับของ 2-บิวทานโนน และอะซีโตนในเลือด
- 4) การขับสารพิษทิ้ง สารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกขับออกจากร่างกายโดยตรงผ่านไตในรูปของปัสสาวะ ทางปอดผ่านลมหายใจ และขับออกทางอ้อมผ่านตับและน้ำดี ถ้าสารนั้นถูกร่างกายขับทิ้งโดยง่าย ความเป็นพิษจะลดน้อยลงกว่าสารเคมีที่ถูกขับทิ้งได้ยาก

สารอินทรีย์ระเหยง่ายอาจมีผลกระทบต่อระบบอื่น ๆ ได้แก่ พันธุกรรม ระบบฮอร์โมน ระบบสืบพันธุ์ และระบบประสาท ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิดและส่งเสริมการเกิดเนื้องอก แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นสารก่อมะเร็งและส่งเสริมการเกิดเนื้องอก

กลุ่ม	สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นสารก่อมะเร็งและส่งเสริมการเกิดเนื้องอก	ชนิดของมะเร็งที่พบ
1	เบนซีน (Benzene) *	มะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดเฉียบพลัน (Acute myeloblastic leukemia)
	1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene) *	ไม่ระบุอวัยวะการเกิดมะเร็ง
	ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl chloride)	-
2	ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) *	มะเร็งปอด (Lung cancer)
	1,2-คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (1,2-Carbon tetrachloride) *	มะเร็งบริเวณตับ (Hepatoma)
	1,1-ไดคลอโรอีเทน (1,1-Dichloroethane)	-
3	เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	-
	ไดคลอโรโพรเพน (Dichloropropane)	-
	โทลูอีน (Toluene)*	-
	ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	-
	เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	-
	ไดโบรมโพรเพน (Dibromopropane)	-
	เอทิลีนไดโบรมไนด์ (Ethylene dibromide)	-
	1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane) *	-
ฮาโลอะซีติก แอซิด (Haloacetic acid)	-	

หมายเหตุ \*: ใช้เป็นตัวทำลายในอุตสาหกรรม กลุ่ม 1: เป็นสารก่อมะเร็งในคน กลุ่ม 2: คาดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคน และกลุ่ม 3: คาดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2555)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดทำลายโครโมโซม และระบบอวัยวะต่าง ๆ เช่น เม็ดเลือดแดง ตับ ไต และระบบประสาท แสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อ และอันตรายต่อสุขภาพ

สาร VOCs	บริเวณที่เกิดผลกระทบ	ผลกระทบต่อสุขภาพ
เบนซีน (Benzene)	เม็ดเลือดแดง ไช้กระดูก และ เส้นประสาท	สลายไช้กระดูก เม็ดเลือดแดงแตก โรคโลหิตจาง และอาการจากระบบ ประสาทส่วนกลาง
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride: CCl <sub>4</sub> )	ตับและระบบประสาท ส่วนกลาง	ตับเสื่อม ตับแข็ง
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	ตับ ไต กล้ามเนื้อหัวใจ ตา และผิวหนัง	ตับเสื่อม ตับแข็ง ไตเสื่อม หัวใจเต้นผิดปกติ และระคายเคือง เยื่อปอด
ไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene)	ตับ ไต เลือด ผิวหนัง และตา	แสบและระคายเคืองตา ปวดบวม โรคตับ มีฤทธิ์กดระบบประสาท ส่วนกลาง อาจหมดสติและเสียชีวิต
เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)	ตับ ระบบประสาทส่วนกลาง และทารกในครรภ์	ตับเสื่อม ตับแข็ง เร่งการเกิดมะเร็ง ตับ มีอาการกดประสาท และทำให้ ทารกในครรภ์พิการได้
เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	ตา ระบบประสาทส่วนกลาง ช่องจมูก และเส้นประสาท	แสบและระคายเคืองตา จมูก กดระบบประสาทส่วนกลาง ปวดศีรษะ มึนงง และหมดสติ
เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol)	ตับ และระบบประสาท ส่วนกลาง	ตับเสื่อม อาการกดระบบประสาท และทำให้ตาบอด
โทลูอีน (Toluene)	ระบบประสาทส่วนกลาง	ทำลายสมอง และทำให้หมดสติ
ไตรคลอโรเบนซีน (Trichlorobenzene)	ตับ และไต	ตับแข็ง ตับเสื่อม และไตเสื่อม
1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	ตับ ไต และเส้นประสาท	ชัก และหมดสติ
ไซลีน (Xylenes)	ผิวหนัง และเส้นประสาท	ระคายเคืองผิวหนัง และอาการ กดประสาทส่วนกลาง

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2555)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดทำให้ระบบภูมิคุ้มกันถูกรบกวนหรือทำลาย ศักยภาพในการป้องกันโรคและการได้รับเชื้อของร่างกาย จากการศึกษาของ Churchill, Ashley, and Kaye (2001) ในประชากรกลุ่มตัวอย่าง 302 คน (ช่วงอายุ 40-59 ปี) ในเมืองแอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบสารไดคลอโรเอทิลีน (Dichloroethylene: DCE) ในเลือดของคนงานที่อยู่บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเปิด (Open dumpsites) ในระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 4.05 ส่วนในพันล้านส่วน และในพื้นที่บริเวณใกล้เคียง พบความเข้มข้นเฉลี่ย 2.95 ส่วนในพันล้านส่วน ( $p=0.01$ ) อธิบายได้ว่ากลุ่มคนงานที่ปฏิบัติงานเป็นระยะเวลานาน และอยู่ใกล้กับบริเวณสถานที่กำจัดขยะ มีโอกาสได้รับสารมลพิษในปริมาณที่มากกว่า นอกจากนี้ประชากรในกลุ่มข้างต้นพบปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวน้อยกว่าประชากรกลุ่มควบคุม ส่งผลให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันมีประสิทธิภาพลดลง ทำให้โอกาสการติดเชื้อได้หรืออาจติดเชื้อรุนแรงได้ เป็นต้น

นอกจากนี้การได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้เกิดการกดระบบประสาทได้ เช่น เกิดอาการง่วงนอน ปวดศีรษะ ซึมเศร้า และหมดสติ ในการทดลองกับหนูเพศผู้และหนูเพศเมีย พบว่าการได้รับสาร 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน ระดับความเข้มข้น 5,000 ส่วนในล้านส่วน ผ่านทางการหายใจ เป็นระยะเวลา 40 นาที ทำให้เกิดความผิดปกติในการส่งกระแสประสาท หนูมีการรับรู้สิ่งเร้าในสิ่งแวดล้อมลดลง กลไกคือ 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน ทำให้สาร Cyclic GMP ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้กับเซลล์ประสาทมีระดับลดลง และประสิทธิภาพในการทำงานของก้านสมองส่วนเมดัลลา ออบลองกาตา (Medulla oblongata) ประสิทธิภาพการทำงานลดลง 55-58% เช่นเดียวกับการศึกษาของ Issa, Sham'a, Nijem, Bjertness, and Kristensen (2010) ผู้ที่ได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่าย สารเคลือบหรือตัวทำละลายในอุตสาหกรรมสี พลาสติก หนังสือสัตว์ และยางสังเคราะห์ ได้แก่ ไดคลอโรมีเทน เอน-เฮกเซน ไอโซไซยาเนต และโพลีไวนิลคลอไรด์ จากการหายใจเป็นประจำ มักแสดงอาการปวดศีรษะ 65% จิตใจกังวล 53% ระคายเคืองตา 43% หายใจติดขัดและมีอาการอื่น ๆ ร่วมด้วย 1.1-3.5% และการศึกษาของ Windham, Shusterman, Swan, Fenster, and Eskenazi (1991) มีประชากรกลุ่มตัวอย่าง 14,000 คน ในเมืองบริสโตล ประเทศอังกฤษ ที่ใช้สเปรย์ปรับอากาศเป็นประจำ พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกระแสเลือด ได้แก่ ไซลีน คีโตน และแอลดีไฮด์ ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ประชากรกลุ่มตัวอย่างพบอาการปวดศีรษะ ซึมเศร้า และท้องเสีย เป็นต้น

กรมควบคุมมลพิษได้ออกประกาศ เรื่องกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 19 ชนิด ดังนี้

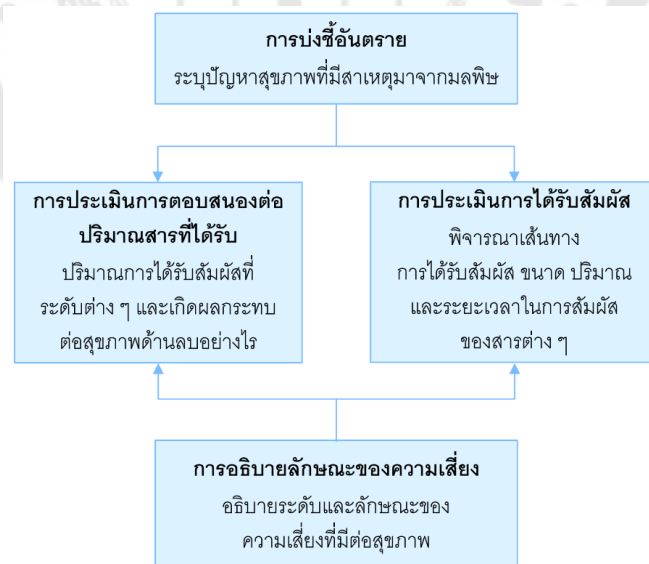
- 1) อะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde)
- 2) อะครอลีน (Acrolein)
- 3) อะคริโลไนไตร (Acrylonitrile)
- 4) เบนซีน (Benzene)
- 5) เบนซิลคลอไรด์ (Benzyl chloride)
- 6) 1,3 – บิวทาไดอีน (1,3 – Butadiene)
- 7) โบรโมมีเทน (Bromomethane)
- 8) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride)
- 9) คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
- 10) 1,2 – ไดโบรโมอีเทน (1,2 – Dibromoethane)
- 11) 1,4 – ไดคลอโรเบนซีน (1,4 – Dichlorobenzene)
- 12) 1,2 – ไดคลอโรอีเทน (1,2 – Dichloroethane)
- 13) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)
- 14) 1,2 – ไดคลอโรโพรเพน (1,2 – Dichloropropane)
- 15) 1,4 – ไดออกเซน (1,4 – Dioxane)
- 16) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)
- 17) 1,1,2,2 – เตตระคลอโรอีเทน (1,1,2,2 – Tetrachloroethane)
- 18) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)
- 19) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl chloride)

## 6. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

วิชาการ จารุศิริ (2561) ให้ความหมายของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health risk assessment) หมายถึง กระบวนการประเมินความเสี่ยงหรือความเป็นไปได้ที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งเป็นผลมาจากการสัมผัสกับสารหรือสถานการณ์และสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตราย เกี่ยวข้องกับการระบุและระบุลักษณะของอันตรายของสารเคมีหรือของเสียอันตราย โดยพิจารณาการเข้าถึงของสารพิษหรือสารเคมีแต่ละเส้นทาง ได้แก่ การแทรกซึมผ่านผิวหนัง การกลืนกิน และการหายใจ การประเมินระดับการสัมผัสและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ มีเป้าหมายเพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพที่จะเกิดอันตรายต่อตัวบุคคล ซึ่งเป็นการให้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ การจัดการความเสี่ยง และการคุ้มครองสุขภาพของประชาชน



การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ตามแนวทางการประเมินของสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) หมายถึง กระบวนการศึกษาความเสี่ยงเป็นไปได้อย่างเป็นระบบ ได้แก่ การระบุอันตราย การประเมินการรับสัมผัส การกำหนดลักษณะความเสี่ยง ซึ่งรวมถึงการพิจารณาเส้นทางการรับสัมผัส เช่น การหายใจ การกลืนกิน หรือการสัมผัสทางผิวหนัง ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความถี่ ระยะเวลา และความรุนแรงของการสัมผัส ความเป็นไปได้และความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งรวมถึงการประเมินข้อมูลทางพิษวิทยาเพื่อสร้างความสัมพันธ์ในการตอบสนองต่อขนาดยา การระบุเกณฑ์หรือระดับที่ไม่มีผลเสียที่สังเกตได้ (NOAEL) และการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับระดับการรับสัมผัสที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งการประเมินออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative risk assessment) และการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative risk assessment) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการประเมินความเสี่ยงทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมากและการประเมินจะเกิดประสิทธิภาพสูง เมื่อมีการใช้ทั้งการประเมินความเสี่ยงในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพพร้อมกัน และหามาตรการในการป้องกันและแก้ไขความเสี่ยงอันตรายที่เกิดขึ้นด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงแสดงดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

ที่มา: United States Environmental Protection Agency (2016)



## 6.1 การประเมินความเสี่ยงสำหรับสารเคมีและของเสียอันตราย

การประเมินความเสี่ยงสำหรับสารเคมีและของเสียอันตรายสามารถอาศัยขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงจาก US EPA และ National academy of sciences ของสหรัฐอเมริกาได้เริ่มใช้และมีการเผยแพร่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (พงศเทพ วิวรรณเดชะ, 2550) จึงมีรายละเอียดดังนี้

### 6.1.1 การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย

#### 6.1.2 การประเมินเส้นทางและโอกาสในการรับสัมผัส

#### 6.1.3 การประเมินลักษณะความเป็นพิษ

#### 6.1.4 การประเมินลักษณะความเสี่ยงอันตราย

### 6.1.1 การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย (Hazard identification)

การประเมินสิ่งคุกคามหรือการวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาข้อเท็จจริงถึงผลเสียต่อสุขภาพอนามัยจากสารพิษที่ได้รับสัมผัส และเป็น การระบุอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมหรือกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อบุคคลหรือ สิ่งแวดล้อม เป้าหมายของการระบุอันตรายคือการระบุอย่างเป็นระบบและเข้าใจถึงอันตรายที่อาจ เกิดขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับสถานการณ์หนึ่ง ๆ การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตรายเกี่ยวข้องกับการตระหนัก ถึงอันตรายและความรุนแรงของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยการประเมินความเสี่ยงจากสิ่งคุกคาม ต้องทราบข้อมูลที่ชัดเจนของสิ่งคุกคาม โดยทราบทั้งปริมาณและขอบเขตการกระจายตัวของ สารพิษหรือสิ่งคุกคามนั้น ๆ การเลือกสิ่งคุกคาม มีหลักการ 3 ประเด็นหลัก คือ

- 1) สิ่งคุกคามมีความเป็นพิษสูงสุด
- 2) สิ่งคุกคามมีความคงทนและกระจายตัวสูง
- 3) สิ่งคุกคามมีความสามารถในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายได้สูง

การประเมินสิ่งคุกคามในงานวิจัยนี้ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ประกอบด้วย สารในกลุ่ม BTEXS ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน นอกจากนี้ ยังพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ ซึ่งประกอบด้วย ไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม ไดคลอโรเบนซีน ฟอรัมานดีไฮด์ เฮกเซน เมทานอล และแนฟทาลิน เป็นต้น

### 6.1.2 การประเมินการรับสัมผัส (Exposure assessment)

การประเมินการรับสารพิษ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเข้มข้นของสารเคมีที่มีความเสี่ยงและความเป็นอันตราย ที่อาจรั่วไหลปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และเมื่อทราบระดับความเข้มข้นที่สัมผัสกับโอกาสในการรับของสารพิษอันตราย จะสามารถคำนวณปริมาณสารพิษที่สามารถเข้าสู่ร่างกายตามเส้นทางต่าง ๆ ได้แก่ การกิน การสัมผัส และการหายใจ

การประเมินการรับสัมผัสจะทำการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากกลุ่มประชากรในกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ใหญ่ เพศชายและเพศหญิง โดยพิจารณาเส้นทางการรับสัมผัสสารพิษผ่านการหายใจของกลุ่มตัวอย่างซึ่งอยู่ในพื้นที่รับสัมผัส โดยทำการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ทำการประเมินความเสี่ยงตามวิธีมาตรฐานและใช้คำแนะนำของ United states environmental protection agency (1989) ข้อมูลกลุ่มประชากรโดยจรรยา บรวิชชาวิสุทธิ (2552) ในการประเมินการรับสัมผัสผ่านการหายใจหรือการสูดดมสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด นอกจากนี้การประเมินการรับสัมผัสเป็นการประมาณหรือการวัดปริมาณสิ่งคุกคามที่บุคคลได้รับสัมผัสสารเคมีจากสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดลักษณะของการสัมผัสสารมลพิษ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และลักษณะของประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับบริเวณแหล่งกำเนิดของสิ่งคุกคาม

2) การค้นหาเส้นทางการรับสัมผัสสารมลพิษ โดยระบุถึงการรับสิ่งคุกคามของแต่ละบุคคลว่ามีการรับสัมผัสสิ่งคุกคามอย่างไร โดยการวิเคราะห์เส้นทางการรับสัมผัสของสิ่งคุกคามจำเป็นต้องทราบแหล่งกำเนิดของสิ่งคุกคามสู่สิ่งแวดล้อม ตำแหน่งที่ประชาชนอยู่อาศัย และกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการพิจารณาเส้นทางการรับสัมผัสสารมลพิษหรือสิ่งคุกคาม

3) การประเมินการรับสัมผัสสิ่งคุกคามเข้าสู่ร่างกายโดยคำนวณปริมาณความเข้มข้นสารพิษที่ได้จากการหายใจ และเป็นสารที่ไม่ก่อมะเร็ง คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\text{Chronic daily intake (CDI)}_{\text{inhalation}} = \frac{C \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

เมื่อ	$CDI_{inhalation}$	= ปริมาณสารที่ได้รับ (มิลลิกรัม/น้ำหนักของร่างกายเป็นกิโลกรัม/วัน)
	C	= ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	IR	= อัตราการหายใจระหว่างทำกิจกรรมต่าง ๆ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
	ET	= ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)
	EF	= ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)
	ED	= ระยะเวลาสัมผัส (ปี)
	BW	= น้ำหนักร่างกาย (กิโลกรัม)
	AT	= ระยะเวลาเฉลี่ย (วัน)

4) การประเมินการรับสัมผัสของสารในกลุ่มเบนซีนเข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากสารกลุ่มนี้ได้มีการนำมาใช้ในชีวิตรประจำวันอย่างแพร่หลาย และสามารถแพร่กระจายอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้แหล่งกำเนิด ทั้งในเขตโรงงานอุตสาหกรรมและเขตชุมชน โดยพิจารณาความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ซึ่งองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) ยืนยันว่าสารกลุ่มเบนซีนเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่มที่ 1 ความเสี่ยงการเกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$R (\text{Cancer risk}) = CDI \times SF \quad (2)$$

เมื่อ R = ความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง

CDI = ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

SF = ค่าสัมประสิทธิ์ความชันการก่อให้เกิดมะเร็ง (Slope factor)

United states environmental protection agency (1989) ได้ให้คำแนะนำว่าความเสี่ยงในความเป็นอันตรายแบบเรื้อรังต่อการเกิดมะเร็งควรมีค่าที่ยอมรับได้ควรอยู่ในช่วง  $10^{-6}$  -  $10^{-4}$  จึงเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ และหากมีค่ามากกว่า  $10^{-4}$  จะถือว่าเป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป

5) การประเมินความเสี่ยงสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer risk) ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน แตกต่างจากชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดย US EPA แนะนำให้ใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณอ้างอิง (Reference concentration: R<sub>f</sub>C) จากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard quotient: HQ) เป็นค่าประมาณที่ได้จากการรับสัมผัสสารมลพิษในทุก ๆ วัน ของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในเกิดมะเร็ง คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$HQ \text{ (Hazard quotient)} = \frac{CDI \text{ (Chronic daily intake)}}{R_fC} \quad (3)$$

เมื่อ HQ = ค่าสัดส่วนความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

CDI = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

R<sub>f</sub>C = ปริมาณอ้างอิง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการรับสัมผัส (Bortey-Sam et al., 2015) สามารถแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

HQ < 0.1 หมายถึง ไม่มีอันตราย

0.1 ≤ HQ ≤ 1.0 หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับต่ำ

1.0 < HQ ≤ 10 หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับปานกลาง

HQ > 10 หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับสูง

กรณีที่ร่างกายได้รับสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งมากกว่า 1 ชนิด United states environmental protection agency (1996) กำหนดให้หาเป็นค่า Hazard index (HI) เป็นค่าผลรวมของ HQ ที่เกิดจากสารมลพิษแต่ละชนิด โดยสมมติให้ระดับผลกระทบที่ร่างกายได้รับแปรผันตามผลรวมของการได้รับสารมลพิษแต่ละชนิด คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$HI \text{ (Hazard index)} = \sum HQ_i \quad (4)$$

เมื่อ HI = ผลรวมความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

HQ<sub>i</sub> = ค่าสัดส่วนความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

ถ้า HI มีค่ามากกว่า 1.00 หมายถึง ผู้ได้รับสารมลพิษควรมีการตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ และจะถือว่าเป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้ต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป

ค่าความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งหรือความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง คำนวณจากผลรวมของความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านการหายใจ แสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 ค่าคงที่สำหรับการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารมลพิษผ่านการหายใจ

พารามิเตอร์	ค่าคงที่	ตัวแปร	หน่วย	อ้างอิง
น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย	เพศชาย 68.9 เพศหญิง 57.4	BW	กิโลกรัม (kg)	จรรยา บรรณวิทยาวิสุทธิ (2552)
ปริมาณอากาศที่หายใจ ในแต่ละวัน	0.83	IR	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ( $m^3 \cdot hour^{-1}$ )	
ช่วงเวลาสัมผัสในชุมชน เฉลี่ยตลอดชีวิต	30	ED	ปี (years)	United States Environmental Protection Agency (2007)
ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส	24	ET	ชั่วโมง/วัน ( $h \cdot day^{-1}$ )	
ระยะเวลาเฉลี่ย	$ED \times 365 \text{ day} \cdot \text{year}^{-1}$ $70 \times 365 \text{ day} \cdot \text{year}^{-1}$	AT	สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง สำหรับสารก่อมะเร็ง วัน/ปี ( $day \cdot y^{-1}$ )	
ความถี่ในการสัมผัส	7	EF	วัน/สัปดาห์	
Slope factor	$0.055 \text{ (mg/kg} \cdot \text{day}^{-1})$ สำหรับ Benzene	SF	$0.055 \text{ (mg/kg} \cdot \text{day}^{-1})$ สำหรับ Benzene	Persad and Cooper (2008)
Reference concentration	$(\text{mg/kg} \cdot \text{day}^{-1})$	$R_f C$	<sup>1</sup> Benzene = 0.004 <sup>2</sup> Toluene = 0.08 <sup>3</sup> Ethylbenzene = 0.1 <sup>4</sup> Xylenes = 0.2 <sup>5</sup> Styrene = 1	

### 6.1.3 การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity assessment)

การประเมินความเป็นพิษเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการรับสัมผัสกับโอกาสของการเกิดผลเสียด้านสุขภาพ เพื่อผลลัพธ์ที่นำไปสู่การหาค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยในมนุษย์ นอกจากนี้ยังเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ได้รับและความเป็นพิษทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ข้อมูลส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลที่ได้จากสัตว์ทดลอง และมีเพียงสารบางชนิดที่มีการทดลองจริงในมนุษย์ ดังนั้นการคำนวณความเสี่ยงต้องทราบทั้งปริมาณสารพิษที่ได้รับและความสัมพันธ์เชิงปริมาณของสารพิษที่ได้รับ (Doses response relationship) โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) สารไม่ก่อมะเร็ง (Non-carcinogen) คือ ปริมาณสารพิษที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ในทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพอนามัย ทั้งนี้รวมถึงสารก่อมะเร็งที่ไม่มีผลต่อยีนและสารพันธุกรรม และความเป็นพิษอื่นที่ไม่ทำให้เกิดการเกิดมะเร็ง (Non-carcinogen effects) แนวความคิดสำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง คือ สารเคมีกลุ่มนี้จะแสดงปริมาณสารเคมีที่ได้รับมากที่สุด (Threshold) เมื่อรับเข้าสู่ร่างกายในทุก ๆ วันจะไม่เกิดความผิดปกติหรือแสดงอาการผิดปกติใด ๆ

2) สารก่อมะเร็งที่มีผลต่อยีน (Genetic carcinogen) คือ สารหรือสิ่งต่าง ๆ รวมทั้งรังสีชนิดต่าง ๆ ที่เมื่อร่างกายได้รับจากการสัมผัส การหายใจ หรือการรับประทาน อาจเป็นสาเหตุการเกิดโรคมะเร็ง ทั้งนี้อาจเป็นสารได้รับสารพิษในปริมาณสูงในระยะเวลาดสั้น ๆ หรือสารพิษปริมาณน้อย ในระยะเวลานาน สำหรับสารก่อมะเร็งจะใช้แนวคิดสำคัญ คือ สารเคมีกลุ่มนี้ จะไม่มี Threshold ซึ่งหมายความว่า ไม่ว่าจะรับได้รับสารปริมาณเพียง 1 โมเลกุล ก็มีโอกาส (Probability) ที่จะก่อให้เกิดมะเร็งได้

นอกจากนี้การประเมินความเป็นพิษเป็นกระบวนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดประชากรที่ได้รับผลกระทบทางด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น การประเมินความเป็นพิษสารแต่ละชนิด จะทำการพิจารณาทั้งการก่อให้เกิดมะเร็งและอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง โดยตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกความเป็นพิษได้แก่ ค่า Slope factor (SF) และค่า Reference concentration (R<sub>C</sub>) ตามลำดับ ซึ่งการรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิดผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ จะมีค่าคงที่ของสารมลพิษที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังตาราง 11 รวมถึงการประเมินความเป็นพิษจากการได้รับสัมผัสสารอันตราย สามารถพิจารณาความเสี่ยงได้ 2 ขั้นตอน ดังนี้



1) การประเมินความเป็นอันตรายจากสารเคมีหรือสารมลพิษ โดยพิจารณาว่าสารนั้น ๆ ก่อให้เกิดความเจ็บป่วยด้านใด และส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างไรบ้าง

2) การประเมินความเป็นพิษจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษที่ได้รับกับอาการตอบสนองของสารพิษที่แสดงขึ้นเมื่อร่างกายได้รับสารอันตรายนั้น ๆ

ตาราง 11 Slope factor (SF) และค่า Reference concentration (R<sub>c</sub>) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ โดยมีเส้นทางการรับสัมผัสผ่านการหายใจ

ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย	ค่า Slope factor (SF) (มคก./ลบ.ม./วัน)	จัดกลุ่มการเกิดมะเร็ง	ค่า Reference concentration (R <sub>c</sub> ) (มคก./ลบ.ม./วัน)	แหล่งที่มา
Acetaldehyde	0.0077	2B	9	US EPA
Benzene	$6.00 \times 10^{-5}$	1	9.6	ATSDR
Bromobenzene	-	-	60	-
Bromoform	$1.1 \times 10^{-6}$	3	-	IRIS
Carbon tetrachloride	$6.00 \times 10^{-5}$	2B	100	IRIS
Chlorobenzene	-	-	1,000	OEHHA
Chloroform	$2.3 \times 10^{-5}$	2B	98	IRIS
cis-1,3-Dichloropropane	$4.0 \times 10^{-5}$	2B	31.8	ATSDR
Dibromochloromethane	$2.7 \times 10^{-5}$	3	-	OEHHA
Ethylbenzene	$2.5 \times 10^{-5}$	2B	1,300	ATSDR
Ethyl methacrylate	-	-	300	PPRTV
Formaldehyde	1.50	2	$3.00 \times 10^{-4}$	US EPA
Hexachloroethane	$4.00 \times 10^{-6}$	2B	-	IRIS
Hexachlorobutadiene	$2.2 \times 10^{-5}$	2B	-	IRIS
Isopropyl benzene	-	-	400	-
Meth acrylonitrile	-	3	0.7	HEAST
Methyl methacrylate	-	3	700	-
Naphthalene	$8.7. \times 10^{-5}$	2B	3.7	ATSDR
n-Hexane	-	-	700	-
n-Pentane	-	-	1,000	-

ตาราง 11 (ต่อ)

ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย	ค่า Slope factor (SF) (มคก./ลบ.ม./วัน)	จัดกลุ่มการเกิดมะเร็ง	ค่า Reference concentration (R <sub>f</sub> C) (มคก./ลบ.ม./วัน)	แหล่งที่มา
Styrene	-	2B	852	-
1,3-Dichloropropane	$4.00 \times 10^{-5}$	2B	31.8	ATSDR
Tetrachloroethylene	$1.00 \times 10^{-4}$	2A	$3.00 \times 10^{-4}$	US EPA
Toluene	-	3	5,000	IRIS
Xylene	-	3	217	ATSDR
Vinyl chloride	0.015	1	0.1	US EPA
1,1,1-Trichloroethane	-	3	5,000	-
1,1,1,2,-Tetrachloroethane	$5.8 \times 10^{-5}$	3	-	-
1,2-Dichloroethane	$6.00 \times 10^{-4}$	2A	9	IRISS
1,2-Dichloropropane	$1.00 \times 10^{-5}$	3	4	IRIS
1,2-Dichlorobenzene	-	3	200	HEAST
1,4-Dichlorobenzene	$1.1 \times 10^{-5}$	2B	60	ARSDR
1,4-Dioxane	$7.7 \times 10^{-5}$	2B	3,600	ATSDR
1,2,3-Trichloropropane	-	2A	0.3	IRIS
1,2,3-Trimethylbenzene	-	-	5	PPRTV
1,3,5-Trimethylbenzene	-	-	6	PPRTV
1,3-Butadiene	0.1	2A	$5.00 \times 10^{-5}$	Lu et al.

ที่มา: United states environmental protection agency (1989); World health organization (WHO) (2022)

#### 6.1.4 การประเมินลักษณะของความเสียหาย (Risk characterization)

การประเมินลักษณะของความเสียหาย เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนบนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วย การระบุอันตราย การแสดงลักษณะเฉพาะของอันตราย การประเมินการได้รับสัมผัส และการแสดงลักษณะเฉพาะของความเสียหาย การประเมินลักษณะของความเสียหายนั้นจะนำค่าที่ได้จากการประเมินใน 3 ขั้นแรกมาประเมินความเสียหายอันตรายเป็นการก่อให้เกิดมะเร็งและอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งในมนุษย์ โดยการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านการหายใจ

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Risk characterization) ได้แบ่งการประเมินความเสี่ยงอันตรายออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการเกิดมะเร็ง และการประเมินความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง ซึ่งคำนวณตามสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ

$$\text{Cancer risk} = I_{\text{inhalation}} \times \text{SF} \quad (5)$$

$$\text{Non-cancer risk} = I_{\text{inhalation}} \times \text{R}_C \quad (6)$$

เมื่อ  $I_{\text{inhalation}}$  = ปริมาณสารมลพิษที่ได้รับ  
(มิลลิกรัม/น้ำหนักของร่างกายเป็นกิโลกรัม/วัน)

SF = Slope factor สารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด  
(กิโลกรัม/วัน/ มิลลิกรัม)

$\text{R}_C$  = ปริมาณอ้างอิง (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม/วัน)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดมีการรายงานว่าเป็นสารก่อมะเร็ง หรือมีโอกาสพัฒนาเป็นสารก่อมะเร็งนั้น เมื่อมนุษย์ได้รับสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย แต่ไม่มีการรายงานชัดเจนเกี่ยวกับความสามารถหรือการทำนายการเกิดมะเร็งในร่างกาย เมื่อรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นระยะเวลาสั้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกลไกที่มีความสลับซับซ้อนในการจัดจำแนกสารก่อมะเร็ง จึงมีการกำหนดเกณฑ์โดยสำนักสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา และ IARC เป็นผู้ประเมินและจัดกลุ่มสารก่อมะเร็งที่ได้รับความเชื่อถือสูงที่สุดในโลก คือ องค์การอนามัยโลก (World health organization: WHO) โดยทางองค์การอนามัยโลกจะเชิญผู้เชี่ยวชาญจากนานาประเทศ พิเคราะห์บททวน ประเมิน ข้อมูลงานวิจัยทั่วโลกเกี่ยวกับสารเคมี เชื้อโรค และสถานการณ์ที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง ได้ทำการจัดกลุ่มแล้วตีพิมพ์ออกมาเป็นหนังสือ เรียกว่า IARC monograph โดยจะมีการทบทวนข้อมูลสารเคมี เชื้อโรค และสภาพการณ์ที่ได้ทำการประเมินและจัดกลุ่มแล้วจะประกาศไว้ ความหมายของการแบ่งกลุ่มสารก่อมะเร็งขององค์การ IARC แสดงดังตาราง 12 และตัวอย่างสารก่อมะเร็ง แสดงดังตาราง 13

ตาราง 12 การจำแนกกลุ่มของสารก่อมะเร็งของ IARC

กลุ่ม	นิยาม	คำอธิบาย
1	Carcinogenic to humans	ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และมีหลักฐานเพียงพอ
2A	Probably carcinogenic to humans	มีหลักฐานน่าเชื่อถือที่สามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน
2B	Possibly carcinogenic to humans	มีหลักฐานพอสมควรที่สามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน
3	Not classifiable as to its carcinogenicity to humans	ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอสมควรที่สามารถทำให้เกิดมะเร็งในคน และยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน

ที่มา: World health organization (WHO) (2022)

ตาราง 13 ตัวอย่างของสารที่มีรายงานการก่อมะเร็งในกลุ่ม 1 และ 2A ของ IARC

กลุ่ม	ตัวอย่าง
1	<p><b>สารและกลุ่มของสาร</b> Arsenic and arsenic compounds, Asbestos, Benzene, Benzidine, Benzo[a]pyrene, Cadmium, Chromium[VI], Formaldehyde, Nickel, Radium-224, -226, -228 and its Decay products, Radon-222 and its Decay products, Vinyl chloride, X- and gamma (γ) – radiation</p> <p><b>ส่วนผสม</b> Aflatoxins, Alcoholic, Beverage, Coal-tar pitches, Soots, Tobacco-smokeless and Wood dust</p> <p><b>การสัมผัส</b> Aluminium production, Arsenic in drinking water, Coal gasification, Coal tar distillation, Furniture and crinet making, Involuntary smoking, Iron and steel founding and Tobacco smoking</p>
2A	<p><b>สารและกลุ่มของสาร</b> Acrylamide, Chloramphenicol, Chlorinated toluenes, Cyclopental [c,d] pyrene, Ethyl carbamate (urethane), Ethylene dibromidem, lead compound- inorganics and Nitrogen mustard</p> <p><b>ส่วนผสม</b> Cresotes, Non-arsenical insecticides, Vinyl bromide and Vinyl fluoride</p> <p><b>การสัมผัส</b> Carbon electrode manufacturing, Cobalt metal with tungsten carbide and Petroleum refining</p>

ค่าความเป็นพิษแบบเรื้อรังสำหรับสารชนิดก่อให้เกิดมะเร็งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษที่ได้รับในหน่วยมิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่อวันกับสัดส่วนประชากรที่เกิดเนื้องอกเกินกว่าประชากรปกติ หรือประชากรของสัตว์ทดลองที่เกิดเนื้องอกกรณีได้รับสารพิษ ลบจำนวนประชากรสัตว์ทดลองที่เกิดเนื้องอกในชุดควบคุม

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษและการตอบสนองเป็นพิษแบบเฉียบพลันดูจากปริมาณสารพิษที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย (Dose) โดยมีการจัดจำแนกออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ ปริมาณสารพิษที่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้รับ (Administered dose) เป็นปริมาณสารพิษในอากาศ ดิน น้ำ หรือในตัวกลางสิ่งแวดล้อมที่ร่างกายได้รับเข้าสู่ร่างกาย เรียกว่า Intake dose หรือ Uptake dose โดยปกติค่าปริมาณสารพิษที่รับเข้าสู่ร่างกายจะมีค่าน้อยกว่าปริมาณสารพิษที่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้รับสารพิษที่เข้าสู่อวัยวะเป้าหมาย (Target หรือ Effective dose)

ปริมาณสารพิษสำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็งและการตอบสนองเป็นพิษแบบเรื้อรังสังเกตจากค่าความเป็นพิษแบบเรื้อรังสำหรับสารชนิดไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง เป็นค่าที่ใช้สำหรับการตอบสนองต่อสารพิษแบบเรื้อรังของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งโดยเป็นปริมาณสารพิษสูงสุดที่ให้แก่สัตว์ทดลองแล้วไม่สังเกตอาการตอบสนองในเชิงลบ ทั้งในรูปแบบของอาการระคายเคือง การเสียชีวิต และไม่เป็นการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมจนก่อให้เกิดมะเร็ง

การกำหนดค่าความเป็นพิษที่ไม่แสดงออกในเชิงลบที่สามารถสังเกตได้ (No observed effect level: NOEL) โดยบ่งชี้ถึงระดับสารพิษที่ไม่แสดงอาการในเชิงลบที่สังเกตอาการได้ (No observed adverse effect level: NOAEL)

การกำหนดค่าสารมลพิษต่ำสุดที่เริ่มแสดงอาการตอบสนองจนสังเกตได้ (Lowest observed effect level: LOEL) โดยบ่งชี้ถึงระดับของสารพิษปริมาณต่ำสุดที่เริ่มแสดงอาการตอบสนองในเชิงลบจนสังเกตได้ (Lowest observed adverse effect level: LOAEL)

Acceptable daily intake (ADI) เป็นค่าที่แสดงถึงระดับปริมาณสารพิษที่ได้รับแบบเรื้อรัง โดยการกำหนดจากปริมาณที่ไม่แสดงอาการในเชิงลบที่สังเกตได้ (NOAEL) จากนั้นนำมาหารด้วย 10 ซึ่งวิธีการคำนวณเช่นนี้ ได้รวมปัจจัยความไม่แน่นอนต่าง ๆ ในทางทฤษฎี เช่น ความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นภายในประชากร สิ่งแวดล้อม และการแปลงค่าการทดลองจากสัตว์ทดลองมาเป็นค่าที่แนะนำสำหรับมนุษย์ ถือเป็นค่า Safety factor ขององค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนด

Reference doses (R<sub>D</sub>) เป็นค่าที่แสดงปริมาณสารพิษที่ได้รับแบบเรื้อรังที่มีการพัฒนาจากค่า NOAEL ด้วยวิธีที่มีความเฉพาะเจาะจงมากกว่าวิธีการหาค่า R<sub>D</sub> ดังต่อไปนี้

1) กรณีสัตว์ทดลองหลายชนิด ให้ใช้สัตว์ทดลองที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณสารพิษที่สุด ยกเว้นมีหลักฐานข้อมูลสิ่งมีชีวิตที่อ่อนไหวที่สุด ไม่สามารถเป็นตัวแทนประชากรในการรับสารพิษในมนุษย์ หากมีข้อมูลพิษวิทยาเมื่อมนุษย์รับสารพิษ ให้เลือกใช้ข้อมูลการรับสารพิษในมนุษย์ก่อน

2) เลือกการรับสัมผัสสารพิษที่เหมาะสมและสอดคล้องกับการรับสัมผัส

3) เลือกข้อมูลจากการศึกษาในมนุษย์และสัตว์ทดลองที่มีความหลากหลาย

4) ให้ระบุค่า NOAEL และ LOAEL สำหรับจุดยุติที่อ่อนไหวที่สุด ทั้งนี้สารพิษชนิดหนึ่ง อาจทำให้เกิดการตอบสนองในเชิงลบได้มากกว่าหนึ่งอย่าง

5) ค่า NOAEL จุดยุติที่อ่อนไหวที่สุด หารด้วย 10 สำหรับความไม่แน่นอนในแต่ละปัจจัย ซึ่งจะถือเป็นค่าที่ได้จากการทดลองโดยตรง ซึ่งไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย

## 7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tchobanoglous (2005) ศึกษาแก๊สจากหลุมฝังกลบที่เกิดจากการสลายตัวของของเสียโดยทั่วไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก พบว่าแก๊สจากหลุมฝังกลบที่เกิดจากการสลายตัวของของเสีย โดยทั่วไปส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สมีเทน 50-60% คาร์บอนไดออกไซด์ 40% และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) น้อยกว่า 1% ซึ่งเมื่อได้รับผลกระทบผ่านการสัมผัสหรือการสูดดม อาจได้รับผลกระทบของพิษจากสารพิษ มีทั้งแบบพิษแบบเฉียบพลัน หายใจไม่ออก ผิวหนังอักเสบ เกิดการระคายเคืองตา คลื่นไส้ อาเจียน และพิษแบบเรื้อรังในระยะยาว อาจเกิดความผิดปกติของร่างกายและทำให้เกิดโรคมะเร็งที่ระบบทางเดินหายใจ มะเร็งเม็ดเลือด และเกิดความผิดปกติของสารพันธุกรรม เป็นต้น

กิตติ ชยางคกุล (2555) ศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย กรณีศึกษาขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ในปัจจุบันที่อาจมีต่อสุขภาพของประชาชนและคุณภาพสิ่งแวดล้อมในชุมชนคลองสาม โดยใช้เครื่องมือวิจัยที่ผสมทั้งกระบวนการตรวจวัด



ในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ประกอบด้วยแบบสอบถามประชาชนในพื้นที่ที่ศึกษาแบบคัดกรอง การตรวจสอบสุขภาพประชากรกลุ่มเสี่ยง ทั้งในมิติทางกาย ทางจิตใจ ทางสังคม และทางจิตวิญญาณ ควบคู่พร้อมกับการตรวจผลทางห้องปฏิบัติการทั้งด้านคุณภาพดิน คุณภาพน้ำ และคุณภาพอากาศ พร้อมทั้งเสนอแนะวิธีการจัดการขยะมูลฝอยแก่ อบต.คลองสาม เพื่อลดปัญหาผลกระทบด้านสุขภาพของประชาชนในชุมชนและบริเวณโดยรอบชุมชน ผลการศึกษาพบว่า ประชาชนในชุมชนมีพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยด้วยหลัก 4R ที่ปฏิบัติบ่อยมากที่สุด คือ การใช้ซ้ำ (Reuse) ในเรื่องการเก็บถุงพลาสติกที่ยังใช้งานได้นำกลับมาใช้อีกมากที่สุด รองลงมาคือ การลดการใช้ (Reduce) การซ่อมแซม (Repair) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เป็นลำดับสุดท้าย โดยมีเหตุผลที่สำคัญ คือ เพราะการแยกขยะรีไซเคิลเพื่อนำไปขาย หรือนำไปใช้ประดิษฐ์เป็นสิ่งของต่าง ๆ ขึ้นใหม่ โดยขาดขั้นตอนการรณรงค์อย่างเป็นรูปธรรม ขาดการมีส่วนร่วมของประชาชนในการทำกิจกรรมร่วมกับในชุมชน พบว่ามีส่วนร่วมน้อยมาก มีสาเหตุสำคัญจากการขาดการประชาสัมพันธ์ และประสานงานจากหน่วยงานท้องถิ่น ผู้นำชุมชน นิติหมู่บ้าน ทำให้ขาดความรู้และเข้าใจของคนในชุมชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยของ อบต.คลองสาม พบว่าส่วนใหญ่มีความรู้ในหลักการจัดการขยะอย่างถูกวิธี แต่ไม่สามารถทำตามหลักการได้ เพราะเมื่อแยกขยะแล้ว รถขยะนำขยะไปเทรวมกัน จึงทำให้การจัดการขยะไม่ประสบความสำเร็จและไม่เกิดความยั่งยืน สำหรับแนวทางการจัดการขยะที่กองไว้เป็นจำนวนมากที่คนในชุมชนยอมรับมี 2 วิธี คือ (1) แยกขยะสด ซึ่งนำไปทำปุ๋ยให้เกษตรกร และขยะแห้งให้นำไปเผาในกระบวนการที่ถูกวิธี และ (2) จัดหาบริษัทที่นำเทคโนโลยีสะอาดมาเผาขยะทั้งหมดที่มีอยู่ในพื้นที่ แต่ต้องไม่กระทบกับความเป็นอยู่ของชาวบ้านและไม่สร้างมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

Nie, Zheng, Shao, Yang, and Chen (2018) ได้ทำการศึกษาลักษณะการปล่อยมลพิษและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากสารประกอบที่ผลิตขึ้นในระหว่างการหมักขยะมูลฝอยชุมชน และการย่อยสลายของเสียที่เป็นของแข็งในเขตเทศบาลระหว่างการทำปุ๋ยหมัก เป็นสาเหตุทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพแก่เจ้าหน้าที่ในพื้นที่ทำปุ๋ยหมักและประชาชนบริเวณใกล้เคียง ปัญหานี้จำกัดการใช้เทคนิคการทำปุ๋ยหมักอย่างแพร่หลาย ลักษณะของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่ปล่อยออกมาจากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบในหน่วยต่าง ๆ ของโรงงานปุ๋ยหมักและทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งผลรวมของสารประกอบกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งรวมถึงแอลเคน แอลคีน สารประกอบในกลุ่มอะโรมาติก สารประกอบที่มีฮาโลเจนที่มีออกซิเจน และสารประกอบที่มีกำมะถัน ทั้ง 44 ชนิด ถูกระบุและหาปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงสุด

(1,5481.1±785.2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) พบในกระบวนการหมักขั้นต้น (10,321.1±1334.8 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก (4,693.6±1024.3 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) การหมักขั้นทุติยภูมิ (929.9±105.2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) จากกระบวนการหมักพบความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยเท่ากับ 6,356 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร สารประกอบหลักที่ปล่อยออกมาระหว่างการหมักขั้นต้นที่ปล่อยออกมาคือ แอลคีน การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพระบุว่า สารอินทรีย์ระเหยง่ายไม่ได้ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งที่ยอมรับไม่ได้ กล่าวคือ ค่า HQ <1 และค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็ง (CR) มีค่า < 1.0×10<sup>4</sup> ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายยังไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อเจ้าหน้าที่หรือต่อผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงสถานที่กำจัดขยะ

Tran, Murayama, Enomoto, and Nishikizawa (2020) ทำการศึกษาผลกระทบของกลิ่นจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยในพื้นที่โดยรอบ กรณีศึกษาในนครโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม โดยวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของกลิ่นในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เปรียบเทียบกับผลการสำรวจแบบสอบถามทางสุขภาพ เพื่อประเมินผลกระทบกลิ่นไม่พึงประสงค์ทางสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า การดำเนินการฝังกลบอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์และความเป็นอยู่ที่ดีของสังคม ทำให้เกิดความกังวลต่อสุขภาพของประชาชน จากไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสะสมในอากาศในปริมาณมากและมีความเข้มข้นสูง จากการระเหยของแก๊สหรือของเหลว ทำให้เกิดไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากเขม่า ฝุ่น และควันจากอุตสาหกรรมหนัก เช่น ปีโตรเคมี เหล็กกล้า และเคมีภัณฑ์ ล้วนเป็นสารพิษอันตราย ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ สารก่อมะเร็ง มีความเป็นพิษสูงจากการสะสมของสารพิษในบรรยากาศทำให้เกิดเป็นมลพิษทุติยภูมิ จากการที่สารพิษรั่วไหลปนเปื้อนรวมกับน้ำฝนทำให้เกิดการปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำสาธารณะ รวมถึงน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ส่งผลอันตรายต่อพืชและสัตว์ ซึ่งอาจปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

Liu, Yang, and Lu (2020) ศึกษาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสลายตัวในขั้นต้น ลักษณะการปลดปล่อยและการประเมินผลกระทบด้านกลิ่นจากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามลพิษทางกลิ่นในระยะสลายตัวของขยะมูลฝอยในประเทศจีน การทดลองแบบสเกลขนาดเล็ก (Microscale laboratory) ในห้องปฏิบัติการ เพื่อจำลองสถานะในกระบวนการจัดเก็บขยะมูลฝอยในระยะเริ่มต้น ตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะการปลดปล่อย รวมถึงผลกระทบของกลิ่นที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบ ชนิด ลักษณะ และความเข้มข้นของการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจาก

ขยะมูลฝอยหรือของเสียที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จากปัญหาด้านกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญมาอย่างยาวนาน เห็นได้จากการร้องเรียนของประชาชน มาจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนอย่างไม่ถูกวิธีในหลายประเทศทั่วโลก ความรำคาญจากกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ส่งผลให้เกิดการร้องเรียนและข้อกักรวบรวมของประชาชน โดยเฉพาะปัญหาด้านผลกระทบต่อสุขภาพ และคุณภาพชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป มลพิษด้านกลิ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของขยะมูลฝอยในระยะเริ่มต้น การรวบรวม และการเก็บขน เพื่อนำไปยังสถานที่กำจัด นอกจากนี้ยังเกิดการสลายตัวในสถานที่เทกองขยะ หลุมฝังกลบขยะ หรือจุดพักขยะที่มักอยู่ใกล้กับบริเวณที่อยู่อาศัย ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นกับผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย อย่างไรก็ตาม ผลกระทบด้านกลิ่นจากกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอย และยังคงมีข้อมูลอยู่อย่างจำกัด การศึกษาคุณสมบัติการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในช่วง 24 ชั่วโมงแรกหลังจากที่มีการสร้างขยะมูลฝอย พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ เอทานอล โดยระบุว่าเอทานอล เมทิลเมอร์แคปแทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นสารก่อมลพิษหลักในขั้นตอนหรือกระบวนการจัดเก็บของเสีย โดยปกติในเมืองหลักสามารถจัดเก็บขยะได้ทุกวัน แต่พื้นที่เขตปริมณฑลและพื้นที่ชนบท เป็นเรื่องยากที่จะจัดเก็บได้ทุก ๆ วัน ดังนั้นขยะมักจะถูกเก็บในภาชนะรองรับขยะเป็นเวลาหลายวัน ก่อนจะมีการจัดเก็บและทำการขนส่งไปยังสถานที่กำจัดขยะปลายทาง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์

Khademi, Samaei, and Shahsavani (2022) ศึกษาการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่ม BTEX ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน และแก๊สชีวภาพที่ปล่อยออกมาในและบริเวณรอบ ๆ หลุมฝังกลบของเทศบาล ประเทศอิหร่าน ระบุว่า การสร้างและการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพอากาศ มีบทบาทสำคัญในการเกิดภาวะโลกร้อน การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ และการปล่อยกลิ่นไม่พึงประสงค์ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะ ระยะเวลาของหลุมฝังกลบ ฤดูกาล และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายดำเนินการโดยวิธี 1501 NIOSH จาก 8 จุด ในช่วง 5 เดือน ตัวอย่างอากาศที่ได้รับจะวิเคราะห์หาสารในกลุ่ม BTEX ในอากาศและสภาพแวดล้อมของหลุมฝังกลบ ผลจากการวิเคราะห์พบปริมาณความเข้มข้น 0.03-18.90 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่สำหรับแก๊สชีวภาพจะพบช่วง 0.08-25.2 ส่วนในล้านส่วน การประเมินสุขภาพและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงต่อมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (LCR) สำหรับเบนซีนและค่าความอันตรายของผู้ที่รับสัมผัสสารพิษ (HQ) ปริมาณสาร BTEX ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดนั้น

พบว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยที่ความเข้มข้นของเบนซีนที่วัดได้ในบรรยากาศ และบริเวณสภาพแวดล้อมโดยรอบแสดงให้เห็นว่าสารประกอบปิโตรเลียมที่มีเบนซีนและอนุพันธ์ของน้ำมันนั้นมีค่าสูงสุดในกลุ่มสารประกอบ BTEX ในบรรดาการปล่อยมลพิษทั้งหมด ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะให้ผู้เกี่ยวข้องบริเวณพื้นที่หลุมฝังกลบ ควบคุมปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยเฉพาะเบนซีนในบริเวณพื้นที่ทำงานของคนงานผู้สัมผัสชยะ ด้วยมาตรการการแก้ไขทางด้านวิศวกรรมควบคุม โดยพบว่าในช่วงฤดูร้อนมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย 56.09 % ในขณะที่ช่วงฤดูหนาว มีการปลดปล่อยเพียง 30.18% โดยระบุได้ว่าปัจจัยที่สำคัญในการเกิดสารอินทรีย์ระเหยง่าย คือ แหล่งที่มาของชยะ ปริมาณและความเข้มข้น โดยมีความร้อนหรือแสงแดดเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาให้เกิดในปริมาณมากและเกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา Photochemical oxidants ทำปฏิกิริยากับ  $\text{NO}_x$  และ  $\text{SO}_x$  ทำให้เกิดโอโซน ซึ่งเป็นสารมลพิษทุติยภูมิ (Secondary pollutants) เช่น ฝนกรด โอโซน เปอร์ออกซีอะซิติกในเตรท (PAN) และอัลดีไฮด์ เป็นต้น

นอกจากนี้ Khademi et al. (2022) ระบุถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการจัดการชยะแบบเทกองกลางแจ้ง ว่าในปัจจุบันการกำจัดชยะมูลฝอยด้วยวิธีการเทกองและการฝังกลบ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายประการ โดยเฉพาะการเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อันเกิดจากแก๊สเรือนกระจกที่เพิ่มสูงขึ้นในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากบริเวณเทกองชยะหรือหลุมฝังกลบชยะนั้นมักก่อให้เกิดแก๊สมีเทน จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ อีกทั้งกระบวนการจัดการชยะไม่ถูกวิธีก่อให้เกิดการปนเปื้อน อาจซึมลงสู่ชั้นดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในบริเวณหลุมฝังกลบ โดยจะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic decomposition) โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนมากับชยะมูลฝอย เช่น เศษอาหาร กากอินทรีย์ ผลไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัตถุดิบอินทรีย์สาร ทำให้เกิดแก๊สชีวภาพ ประมาณ 40-50% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน และส่วนที่เหลือเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ก็ยังพบไนโตรเจน ออกซิเจน ไอน้ำ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมถึงสารอินทรีย์ระเหยง่ายและสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่เรียกว่า "สารประกอบที่ไม่ใช่มีเทน" มีสัดส่วนประมาณ 1% ของแก๊สทั้งหมด รวมทั้งสารพิษ เช่น เบนซีน โทลูอีน คลอโรฟอร์ม และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจัดการชยะแบบเทกองกลางแจ้งที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล สำหรับองค์ประกอบต่าง ๆ ของแก๊สที่พบในบริเวณพื้นที่ของบริเวณเทกองชยะ แสดงดังตาราง 14

ตาราง 14 องค์ประกอบของแก๊สต่าง ๆ ที่พบในกระบวนการจัดการขยะแบบเทกองกลางแจ้ง

องค์ประกอบของแก๊ส	ร้อยละโดยประมาณ
แก๊สมีเทน	60.46 - 89.07
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	4.12 - 45.14
แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.96 - 15.35
แก๊สไนโตรเจน	0.1 - 1.0
แก๊สออกซิเจน	0 - 1.0
แก๊สไฮโดรเจน	0 - 0.2
แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	0.02
สารอินทรีย์ระเหยง่าย และแก๊สอื่น ๆ	0.1 - 1.0

ที่มา: Tchobanoglous (2005)

การเกิดแก๊สจากกระบวนการจัดการขยะแบบเทกองหรือฝังกลบ แบ่งเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ขั้นตอนการปรับเสถียรเริ่มต้น (Initial adjustment) หรือขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นระยะเริ่มแรกที่ขยะมูลฝอยเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน โดยออกซิเจนจะมาจากอากาศที่อยู่ในชั้นช่องว่างระหว่างขยะมูลฝอย โดยมีจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศที่ทำหน้าที่ย่อยสลายขยะมูลฝอย โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่มีองค์ประกอบจำพวกพวกเซลลูโลสและโพลีเมอร์ ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ซึ่งจะมีค่าสูงมากในตอนแรกและค่อย ๆ ลดลง โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสนี้จะยังคงเกิดขึ้นได้ต่อไป จนกว่าแก๊สออกซิเจนจะถูกใช้ไปจนหมด ดังนั้นระยะเวลาของการย่อยสลายในขั้นตอนนี้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของแก๊สออกซิเจนที่มีอยู่ในหลุมฝังกลบ

ระยะที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis หรือ Fermentation หรือ Acid phase) จะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากแก๊สออกซิเจนภายในหลุมฝังกลบถูกใช้จนหมดไป จึงส่งผลให้ภายในพื้นที่หลุมฝังกลบเกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic condition) เป็นระยะที่กรดอินทรีย์เกิดขึ้นปริมาณมากและปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนลดลง โดยขั้นแรกจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ แป้ง ไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กพอที่จุลินทรีย์จะใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนได้ ในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบ



จากขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส ไปเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดแลคติก และสารประกอบแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล คีโตน และกรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น สำหรับแก๊สที่สำคัญที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟูลวิก และแก๊สไฮโดรเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenic microorganism)

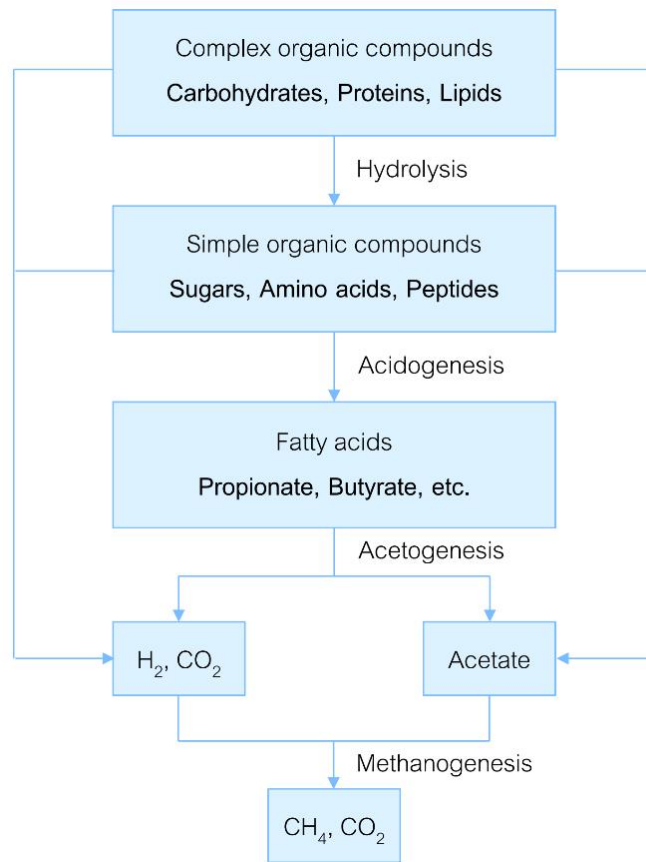
ระยะที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) จะเริ่มขึ้นเมื่อจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศ บางชนิด ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ให้เป็นกรดอะซิติก ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างมีเทนมีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนและจุลินทรีย์ที่สร้างกรดอะซิติก จะมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน โดยจุลินทรีย์ที่สร้างกรดอะซิติกจะสร้างสารประกอบที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน และจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนจะใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอะซิติกที่เกิดขึ้น

ระยะที่ 4 การสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) มีอัตราการผลิตแก๊สจากบริเวณหลุมฝังกลบค่อนข้างคงที่ โดยองค์ประกอบของแก๊สบริเวณหลุมฝังกลบจะประกอบด้วยมีเทน ร้อยละ 50 – 55 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 45 – 50 และแก๊สอื่น ๆ ในขั้นตอนนี้อัตราการผลิตแก๊สจากหลุมฝังกลบจะคงที่โดยอาจใช้ระยะเวลาถึง 20 ปี อย่างไรก็ตามแก๊สจากบริเวณพื้นที่หลุมฝังกลบอาจยังคงแพร่ขยายออกสู่บรรยากาศได้เป็นระยะเวลาถึง 50 ปี หรือมากกว่าได้ สำหรับวิธีในการสร้างแก๊สมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะภายใต้สภาวะไร้อากาศ สามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การสร้างแก๊สมีเทนจากกรดอะซิติก คิดเป็นร้อยละ 70 ของแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้น

วิธีที่ 2 เป็นการสร้างแก๊สมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน คิดเป็นร้อยละ 30 ของแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างแก๊สมีเทน ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้าและเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่จำกัด เช่น ค่า pH อุณหภูมิและสารอาหาร ต้องมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ยังขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันกับจุลินทรีย์ในขั้นตอนอื่น ๆ ด้วย ทั้งจากกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic bio-degradation) หรือกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic bio-degradation) ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 7 ดังนั้นองค์ประกอบของเสียและเงื่อนไขต่าง ๆ จึงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตสารอินทรีย์ระเหยง่าย





ภาพประกอบ 7 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ (Anaerobic digestion process)

ที่มา: Al Mamun and Torii (2017)

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี” ครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการ สัมภาษณ์ข้อมูลและเก็บตัวอย่างภาคสนามและนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งศึกษากระบวนการจัดการขยะ เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินความสัมพันธ์การปนเปื้อนสารมลพิษในอากาศ โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา
2. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
  - 2.1 การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและการหาค่าประกอบของขยะมูลฝอย
  - 2.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย
  - 2.3 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ
  - 2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ
  - 2.5 การประเมินความเสี่ยงและจรรยาบรรณการวิจัย
  - 2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

#### 1. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พื้นที่หมู่ 15 ตำบลพิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานที่บริเวณพื้นที่เทกองขยะ คือ  $x: 14.141048$  และ  $y: 100.674495$  แสดงดังภาพประกอบ 8 ภาพประกอบ 9 และตาราง 15 มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 220 ไร่ ห่างจากที่ว่าการอำเภอคลองหลวง ประมาณ 2 กิโลเมตร และห่างจากกรุงเทพมหานคร เป็นระยะทางประมาณ 47.8 กิโลเมตร มีพื้นที่ทั้งสิ้น 48 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 30,000 ไร่ มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียง ดังนี้

- 1) ทิศเหนือติดต่อกับตำบลพะยอม อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- 2) ทิศตะวันออกติดต่อกับตำบลคลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- 3) ทิศตะวันตกติดต่อกับตำบลคลองสอง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- 4) ทิศใต้ติดต่อกับตำบลบึงยี่โถ ตำบลประชาธิปัตย์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี



ตาราง 15 รายละเอียดแผนผังบริเวณพื้นที่ศึกษา บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

จุดที่	สถานที่	จุดที่	สถานที่
1	บ่อมยาม	13	เครื่องชั่ง RDF
2	ประตู	14	บ่อน้ำ Reused
3	อาคารคัดแยกขยะ 1	15	บ่อหน่วงน้ำฝน 1,000 m <sup>2</sup>
4	อาคารคัดแยกขยะ & RDF	16	บ่อพักน้ำใช้สำหรับการหมัก
5	บ่อหน่วงน้ำฝน 1,000 m <sup>2</sup>	17	พื้นที่ร่อนสารปรับปรุงดิน
6	ระบบบำบัดน้ำเสีย	18	บ้านพักคนงาน 3
7	บ่อหมักสารอินทรีย์สาร 82,000 m <sup>3</sup>	19	อาคารสเปรย์
8	พื้นที่เทกองขยะ 82,000 m <sup>3</sup>	20	เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน
9	อาคารคัดแยกขยะ	21	Flare
10	รางระบายน้ำ	22	ประตู
11	บ้านพักคนงาน 1	23	พื้นที่พักขยะฉุกเฉิน
12	บ้านพักคนงาน 2		

## 2. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

### 2.1 การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและการหาค่าประกอบของขยะมูลฝอย

การศึกษาศาสตร์อินทรีย์จะเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ผู้วิจัยใช้อุปกรณ์การเก็บข้อมูล และศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยดังนี้

2.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

2.1.2 ถังมือยาง

2.1.3 ถังพลาสติกบรรจุตัวอย่าง

2.1.4 ผ้าใบหรือผ้ายางสำหรับปูพื้น

2.1.5 หน้ากากกันฝุ่น

2.1.6 รองเท้าบูท



2.1.7 อุปกรณ์สำหรับคลุกเคล้ามูลฝอย เช่น พลั่ว คราด และจอบ เป็นต้น

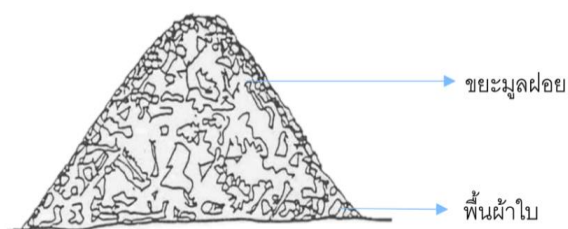
2.1.8 ภาชนะตวงขยะมูลฝอยความจุไม่ต่ำกว่า 50 ลิตร

2.1.9 ไม้ค้ำขยะ

2.1.10 เชือก

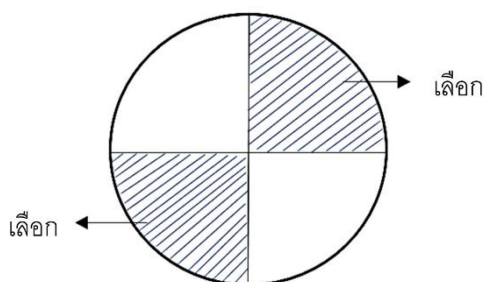
2.1.11 ถุงพลาสติกสีดำ

การสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอย (Refuse random sampling) บริเวณพื้นที่ศึกษาในจุดรวบรวมขยะมูลฝอย เพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ ประกอบด้วยสิ่งต่าง ๆ หลายชนิดซึ่งผสมรวมกันอย่างหยาบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยจึงจำเป็นต้องทำอย่างเป็นระบบ เพื่อให้มีลักษณะองค์ประกอบที่สามารถเป็นตัวแทนของที่ดีที่สุดของขยะทั้งหมดที่ทำการสุ่มเก็บเพื่อการวิเคราะห์ โดยใช้ถังตวงขนาด 50 ลิตร ตวงขยะมูลฝอยจากบริเวณจุดต่าง ๆ แล้วนำมารวมกันให้ได้ปริมาตรประมาณ 500 ลิตร จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก และนำตัวอย่างขยะมูลฝอยกองรวมกันลงบนแผ่นผ้าใบที่มีการปูรองพื้น ทำการคลุกเคล้าให้ขยะผสมกันอย่างทั่วถึงทั้งกอง เพื่อให้องค์ประกอบของขยะมูลฝอยมีลักษณะคล้ายคลึงกันในทุกส่วน จากนั้นแบ่งกองขยะออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) แล้วเลือกตัวอย่าง 2 ส่วน ที่กองอยู่ตรงข้ามกันจาก 4 ส่วน นำมากรวมกัน แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งเพื่อให้องค์ประกอบต่าง ๆ กระจายอย่างทั่วถึง แสดงดังภาพประกอบ 10 และภาพประกอบ 11 ตามลำดับ ปริมาณขยะที่เหลือให้แยกออกและนำกลับไปทิ้ง จากนั้นทำ Quartering จนกระทั่งเหลือตัวอย่างขยะมูลฝอยประมาณ 20 ลิตร และชั่งน้ำหนักขยะมูลฝอยเพื่อหาองค์ประกอบต่าง ๆ (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)



ภาพประกอบ 10 ลักษณะการกองขยะมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2554)



ภาพประกอบ 11 การแบ่งขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวง  
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2554)

## 2.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

การวิเคราะห์ความหนาแน่นและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ดำเนินการโดยนำตัวอย่างขยะมูลฝอยมาวิเคราะห์ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ ดังนี้

2.2.1 การหาความหนาแน่นปกติ (Bulk density) เป็นการหาความหนาแน่นของขยะมูลฝอยที่บรรจุอยู่ในภาชนะทั่วไป โดยการเตรียมถังซึ่งใช้เป็นภาชนะตวงที่ทราบปริมาตรมาซึ่งน้ำหนัก จากนั้นนำขยะมูลฝอยที่ได้จากการทำ Quartering ใส่ภาชนะตวงขยะมูลฝอยให้เต็มและยกภาชนะตวงให้สูงจากพื้นประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วปล่อยลงให้กระทบพื้น 3 ครั้ง หากปริมาณในภาชนะตวงลดลงให้เติมขยะมูลฝอยลงไปจนได้ระดับโดยไม่มีการอัดเพิ่ม จากนั้นชั่งน้ำหนักภาชนะตวงที่มีขยะมูลฝอยและทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยการคำนวณความหนาแน่นปกติของขยะมูลฝอยได้จากสมการที่ (7)

$$D = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (7)$$

เมื่อ  $D$  = ความหนาแน่นปกติของขยะมูลฝอย

$W_1$  = น้ำหนักภาชนะตวงขยะเปล่า

$W_2$  = น้ำหนักภาชนะตวงขยะที่มีขยะมูลฝอย

$V$  = ปริมาตรภาชนะตวง



2.2.2 การหาองค์ประกอบขยะมูลฝอย (Waste composition) หรือการคัดแยกชนิดของขยะมูลฝอยออกเป็นประเภทต่าง ๆ อ้างอิงวิธีการตาม ASTM Designation: D 5231-92 Standard test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste เช่น ประเภทของขยะอินทรีย์ (เศษอาหาร เศษผักผลไม้) กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ ไม้ ยาง หนัง ผ้า โฟม และอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ ขยะมูลฝอยอื่น ๆ ที่ไม่สามารถจัดกลุ่มหรือจำแนกกลุ่มได้ เช่น กระดาษทิชชูและผ้าอนามัย เป็นต้น จากนั้นนำขยะแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูลและคำนวณร้อยละขององค์ประกอบแต่ละประเภทได้จากสมการที่ (8)

$$C_i = \frac{W_i \times 100}{W} \quad (8)$$

เมื่อ  $C_i$  = ร้อยละขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละประเภท  
 $W_i$  = น้ำหนักของขยะมูลฝอยแต่ละประเภท  
 $W$  = น้ำหนักตัวอย่างขยะมูลฝอยทั้งหมด  
 $i$  = 1, 2, 3, ..., n คือ องค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละประเภท

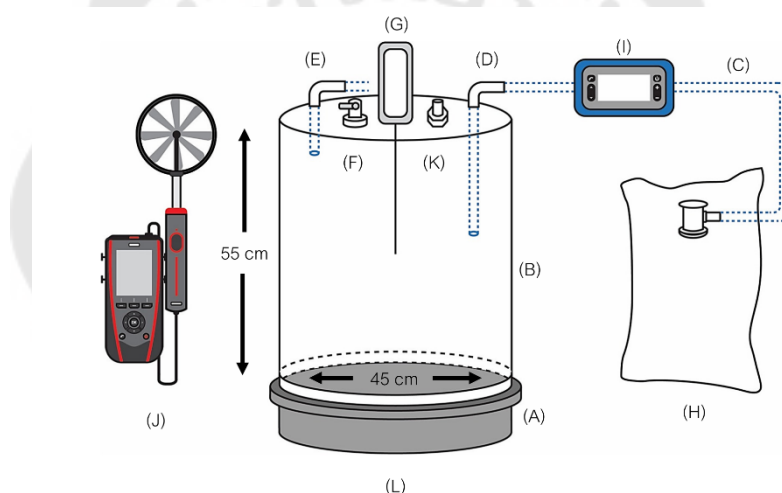
### 2.3 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

การเก็บตัวอย่างโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ หรือ Air sampling bag เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศตาม US EPA 0040 method สามารถใช้เก็บตัวอย่างอากาศได้หลายชนิดเพื่อส่งไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพต่อไป ถุงเก็บตัวอย่างอากาศทำจากวัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น โพลีเอสเตอร์ (Polyester) โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (High polyethylene) และ โพลีไวนิล (Polyvinyl) แต่ส่วนมากนิยมทำจากวัสดุชนิดเทดลาร์ (Tedlar) เนื่องจากมีความเหนียวทนต่อแรงดัน และทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก ถุงเก็บตัวอย่างอากาศมีทั้งชนิดใสและถุงทึบแสงสีดำ ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศที่อาจเกิดปฏิกิริยากับแสงและความร้อน

ขั้นตอนการดำเนินการเก็บตัวอย่าง มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 นำฟลักซ์แชมเบอร์ (Flux chamber) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย ด้วยวิธี Surface emission isolation fluxes chamber เป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ระเหยออกมาจากพื้นดิน โดยจะปิดคลุมในส่วนที่

ทราบขนาดที่แน่นอน พัฒนาขึ้นโดย US EPA วิธีข้างต้นเป็นการวัดค่าการปลดปล่อยมลพิษจากพื้นที่ฝังกลบขยะ โดยมีหลักการ คือ การใช้อุปกรณ์ชุดครอบหุ้มล้อมรอบบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ต้องการใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่แหล่งกำเนิดมลพิษ ทำการควบคุมอัตราการไหลโดยการเติมแก๊สสะอาด (Air zero) เข้าไปในชุดครอบวัดฟลักซ์ เพื่อให้เกิดการผสมกันภายใน แล้วจึงระบายออกทางช่องที่เตรียมไว้ ค่าความเข้มข้นของแก๊สมลพิษที่ได้ จะวัดได้จากช่องทางระบายที่เหมาะสม ตัวอย่างชุดทดสอบแบบฟลักซ์แชมเบอร์ โดยเก็บที่บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศแบบ Grab sampling โดยมีลักษณะการเก็บตัวอย่างแบบซิกแซกทั้ง 5 จุด เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา โดยแต่ละจุดทำการเก็บตัวอย่างและทำซ้ำ 3 ครั้ง การเก็บตัวอย่างอากาศจากฟลักซ์แชมเบอร์ที่สร้างโดยผู้วิจัย แสดงดังภาพประกอบ 12



- |                                   |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| (A) Stainless steel anchor        | (G) Port for temperature and humidity |
| (B) Plexiglass cover              | (H) Tedlar sampling bag               |
| (C) Polyethylene tube             | (I) Personal pump                     |
| (D) Port for gas sampling         | (J) Anemometer                        |
| (E) Port for inlet gas (Air zero) | (K) Septum                            |
| (F) Port for ventilation          | (L) Open dump surface                 |

ภาพประกอบ 12 การเก็บตัวอย่างอากาศจากฟลักซ์แชมเบอร์  
โดยใช้ปั๊มสุญญากาศเก็บตัวอย่างอากาศผ่านถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Tedlar bag)

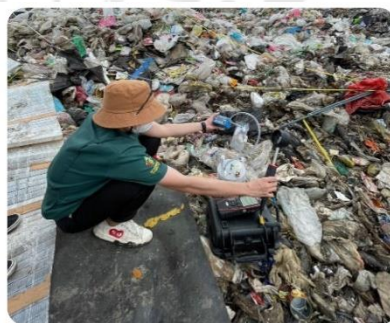
การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปลดปล่อยจากกระบวนการกำจัดขยะขั้นสุดท้ายสู่ชั้นบรรยากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยทั้งหมดประมาณ 220 ไร่ หรือ 0.352 ตารางกิโลเมตร สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยปัจจุบันรับกำจัดขยะจาก 10 องค์การบริหารส่วนท้องถิ่นในจังหวัดปทุมธานี ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยวันละ 600-1,000 ตันต่อวัน สามารถรองรับปริมาณขยะมูลฝอยในจังหวัดปทุมธานีและบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงได้มากกว่าร้อยละ 70 โดยจุดเก็บตัวอย่าง (Sampling point: S) แบ่งออกเป็น 5 บริเวณ ได้แก่ S1-S5 ซึ่งเป็นตัวแทนบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้งทั้งหมด พิกัดและบริเวณพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 พิกัดและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (S1-S5) บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองขยะกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นการเก็บตัวอย่างแบบครั้งคราว (Spot sampling) โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างครั้งละ 56 นาที ด้วยวิธี Surface emission isolation fluxes chamber ดังภาพประกอบ 14 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแบบไม่เคลื่อนที่ โดยจะปิดคลุมในส่วนที่ทราบ

ขนาดที่แน่นอน จากนั้นปล่อยให้แก๊สจากพื้นผิวของบริเวณเทกองขยะสะสมภายในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ และดึงตัวอย่างอากาศด้วยปั๊มสุญญากาศ โดยมีหลักการคือ ใช้อุปกรณ์ชุดครอบหุ้มล้อมรอบบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ต้องการใช้เป็นตัวแทนของแหล่งกำเนิดมลพิษ ควบคุมอัตราการไหลโดยเติมแก๊สสะอาด ที่มีแรงดันและมีความบริสุทธิ์สูงเข้าไปในชุดอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์เพื่อให้เกิดการผสมกันภายใน แล้วจึงระบายออกทางช่องที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นวาล์วทั้งหมดจะถูกปิดเพื่อให้แก๊สจากบริเวณเทกองขยะเกิดการสะสมอยู่ในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ ตัวอย่างชุดทดสอบอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ จะถูกติดตั้งกับปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับถุงเก็บตัวอย่างอากาศ ขนาด 10 ลิตร และ 25 ลิตร เพื่อทำการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยปั๊มสุญญากาศควบคุมอัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้งในช่วงเวลาเดียวกัน ได้แก่ 07.00-09.00 น. และ 12.00-14.00 น. ร่วมกับการตรวจวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และความดันในบรรยากาศ ด้วยอุปกรณ์ชนิดมัลติฟังก์ชัน ยี่ห้อ Kimo รุ่น AMI 310 Multifunction Instrument Measures (ประเทศฝรั่งเศส) จากนั้นเก็บตัวอย่างอากาศใส่ลงในกล่องหรือวัสดุแบบที่บดแสงเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับแสงและความร้อน



ภาพประกอบ 14 การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยวิธี Surface emission isolation fluxes chamber ต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ และดึงอากาศผ่านถุงเก็บตัวอย่างอากาศชนิดเทดลาร์

2.3.2 นำถุงเก็บอากาศชนิดเทตลาร์ขนาด 25 ลิตร เก็บตัวอย่างในเวลา 07.00-09.00 น. และ 12.00-14.00 น. ช่วงเวลาระยะ 2 ชั่วโมง ใช้ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างละ 56 นาที

2.3.3 เก็บตัวอย่างในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้งต่อจุดเก็บตัวอย่าง (ทำซ้ำ 3 ครั้งต่อจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา)

2.3.4 ติดตั้งปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับถุงเก็บอากาศชนิดเทตลาร์ขนาด 10 ลิตร เพื่อทำการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยปั๊มสุญญากาศมีอัตราการไหล 0.1 ลิตรต่อนาที

2.3.5 นำตัวอย่างอากาศส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ ภายใน 48 ชั่วโมง ด้วย Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GCMS-QP2020 (ประเทศญี่ปุ่น) ในโหมดการวิเคราะห์แบบ Scan mode เพื่อระบุชนิดและจำแนกกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย ด้วย VOCs analyzer ด้วยเทคนิคการแตกตัวเป็นไอออนของเปลวไฟ Gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID) ยี่ห้อ Chromatotec รุ่น A24022 (ประเทศฝรั่งเศส) โดยสามารถแบ่งช่วงการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง ตามจำนวนคาร์บอนอะตอม ได้แก่ การตรวจวัดช่วงการวิเคราะห์คาร์บอนต่ำ (C2-C6) และการตรวจวัดช่วงการวิเคราะห์คาร์บอนสูง (C6-C12)

## 2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ

ตัวอย่างอากาศที่ถูกนำส่งมายังห้องปฏิบัติการภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง จะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการแยกส่างต่าง ๆ สูงและมีสภาพไวในการตรวจวัดสารที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ซึ่งเหมาะสำหรับการหาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีปริมาณน้อยที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ข้อมูลจากแมสสเปกตรัมยังช่วยยืนยันการระบุชนิดของสารได้อย่างมีความแม่นยำและน่าเชื่อถืออีกด้วย (Positive identification) จึงนิยมใช้เทคนิค GC-MS ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายเชิงคุณภาพจากตัวอย่างตัวกลางทางสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการไหลของแก๊สและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ แสดงดังตาราง 16



ตาราง 16 อัตราการไหลของแก๊สและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเทคนิค GC-MS

List	Condition
Column	HP5-MS Diameter 0.32 mm length 60 m, thickness of film 1 mm
Injector temperature	200 °C
Column flow (ml/min)	Start 35 °C hold 4.50 min, to 60 °C (25 °C/min) to 90 °C (6 °C/min), to 200 °C (50°C/min) hold 1 min
Carrier gas	Helium
Column flow (ml/min)	3.0
Detector	Sim scan mode (Temperature detector 250 °C)
Spit mode	Spitless

การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายเชิงคุณภาพด้วยเทคนิค GC-MS เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบและชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยโครมาโตแกรมของสารที่ไม่ระบุชนิดหรือองค์ประกอบสาร (Unknown) ที่ตรวจพบสารอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกระบุระหว่าง Retention time และ Target qualifier ions เทียบกับฐานข้อมูลแมสสเปกตรัมของสถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National institute of standard and technology: NIST) สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยให้ความสำคัญสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้ง 9 ชนิด ซึ่งเป็นสารที่มีการกำหนดค่าเฝ้าระวังและค่ามาตรฐานในบรรยากาศ ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (2550) เรื่องสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพแสดงดังตาราง 17

การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายเชิงปริมาณด้วยเครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย หรือ VOCs analyzer ซึ่งเป็นเครื่องสำหรับตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยเฉพาะ ด้วยเทคนิคการแตกตัวเป็นไอออนด้วยเปลวไฟ (GC-FID) คือ มีความไวต่อสารอินทรีย์ระเหยง่าย และมีความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัด (Linearity) ช่วงกว้าง กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ผ่านตัวตรวจวัดแบบ FID กับสัญญาณที่ส่งออกมา เป็นเส้นตรงในช่วงที่กว้าง และความแรงของสัญญาณไม่ได้รับผลกระทบจากการไหลของแก๊สพา (Carrier gas) หรือคุณสมบัติของตัวตรวจวัด ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้สูงสุด 86 ชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน สำหรับระยะเวลา



การทำงานในแต่ละรอบจะใช้ระยะเวลาในการตรวจวัด 120 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยเครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถตรวจวัดความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคาร์บอนในช่วงต่ำตั้งแต่คาร์บอน 2-6 อะตอม และช่วงการวิเคราะห์คาร์บอนสูงตั้งแต่คาร์บอน 6-12 อะตอม ซึ่งในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ติดตั้งบีมระหว่างการวิเคราะห์ เพื่อช่วยให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายจากถุงเก็บตัวอย่างเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ได้เร็วขึ้น และช่วยลดการสูญหายสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างการเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย

ตาราง 17 สมบัติทางกายภาพของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 9 ชนิดที่ทำการศึกษา

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	มวลโมเลกุล (g/mol)	จุดเดือด (°C)	Mass (m/z)
1,3-Butadiene (CH <sub>2</sub> =CHCH=CH <sub>2</sub> )	54.09	-13.4	54
Vinyl chloride (H <sub>2</sub> C=CHCl)	62.50	-4.5	62
Dichloromethane (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	84.93	39.8	84
Chloroform (CHCl <sub>3</sub> )	119.38	61.5	86
1,2-Dichloroethane (ClCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl)	98.96	83	83 และ 85
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	78.11	80	132 และ 139
1,2-Dichloropropane (CH <sub>3</sub> CHClCH <sub>2</sub> Cl)	112.99	96	164 และ 166
Trichloroethylene (ClCH=CCl <sub>2</sub> )	131.39	86.7	62 และ 63
Tetrachloroethylene (CCl <sub>2</sub> =CCl <sub>2</sub> )	165.83	121	98 และ 100

## 2.5 การประเมินความเสี่ยงและจริยธรรมการวิจัย

การประเมินความเสี่ยงสำหรับการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปลดปล่อยมาจากกระบวนการกำจัดขยะขั้นสุดท้ายสู่ชั้นบรรยากาศ ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี อาศัยขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงจาก US EPA และ National academy of sciences (NAS) ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับกระบวนการ ขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยงอันตรายประกอบด้วย การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย การประเมินจากการรับสัมผัส และการประเมินลักษณะความเสี่ยง โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้รับการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (หมายเลขเอกสารรับรอง SWUEC/G-439/2565X)

การประเมินสิ่งคุกคามหรือการวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสรุปว่าการได้รับสารพิษที่สนใจมีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ เนื่องจากมีสารเคมีเพียงไม่กี่สารที่มีการระบุความเป็นพิษในมนุษย์ไว้อย่างชัดเจน โดยการประเมินสิ่งคุกคามในงานวิจัยนี้คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ก่อให้เกิดมะเร็งประกอบด้วย สารในกลุ่มบีเทค (BTEXS) ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน นอกจากนี้ยังพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ ซึ่งประกอบด้วย คลอโรฟอร์ม ไดคลอโรมีเทน ไดคลอโรเบนซีน ฟอร์มาลดีไฮด์ เฮกเซน เมทานอล และแนฟทาลีน เป็นต้น

การประเมินการรับสัมผัสเป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศผ่านการหายใจ โดยการคำนวณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดที่ไม่ก่อมะเร็งที่ประกอบอาชีพหรืออาศัยอยู่ใกล้กับบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี แสดงการคำนวณอัตราการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านการหายใจได้จากสมการที่ (1) และข้อมูลจากตาราง 10

$$CDI_{\text{inhalation}} = \frac{C \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

เมื่อ  $CDI_{\text{inhalation}}$  = ปริมาณสารที่ได้รับ  
(มิลลิกรัม/น้ำหนักของร่างกายเป็นกิโลกรัม/วัน)

C = ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ  
(มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

IR = อัตราการหายใจระหว่างทำกิจกรรมต่าง ๆ  
(ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)

ET = ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)

EF = ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)

ED = ระยะเวลาสัมผัส (ปี)

BW = น้ำหนักร่างกาย (กิโลกรัม)

AT = ระยะเวลาเฉลี่ย (วัน)

การประเมินการรับสัมผัสของสารในกลุ่มเบนซีนเข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากสารกลุ่มนี้ได้มีการนำมาใช้ในชีวิตรประจำวันอย่างแพร่หลาย และสามารถแพร่กระจายอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้กับแหล่งกำเนิด โดยสามารถพิจารณาความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (Cancer risk) ซึ่งองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) ยืนยันว่าสารกลุ่มเบนซีนเป็นสารชนิดก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่มที่ 1A ความเสี่ยงการเกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$R \text{ (Cancer risk)} = \text{CDI} \times \text{SF} \quad (2)$$

เมื่อ R = ความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk)

CDI = ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

SF = ค่าสัมประสิทธิ์ความชันการก่อให้เกิดมะเร็ง (Slope factor)

United states environmental protection agency (1989) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าความเสี่ยงความเป็นอันตรายแบบเรื้อรังต่อการเกิดมะเร็ง ควรมีค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงไม่เกิน  $10^{-6}$  -  $10^{-4}$  จึงจะสามารถยอมรับได้ และหากมีค่ามากกว่า  $10^{-4}$  จะถือว่าเป็นค่าความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องมีการดำเนินการแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงอันตรายต่อไป

การประเมินความเสี่ยงสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer risk) ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน ซึ่งแตกต่างจากสารมลพิษชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดย US EPA ได้แนะนำให้ใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณอ้างอิง (Reference concentration:  $R_fC$ ) จากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard quotient: HQ) เป็นค่าประมาณที่ได้จากการรับสัมผัสสารมลพิษในทุก ๆ วัน ของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในเกิดมะเร็ง คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\text{HQ (Hazard quotient)} = \frac{\text{CDI (Chronic daily intake)}}{R_fC} \quad (3)$$

เมื่อ HQ = ค่าสัดส่วนความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

CDI = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

$R_fC$  = ปริมาณอ้างอิง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง พิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพ จากการรับสัมผัส (Bortey-Sam et al., 2015) แบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

HQ < 0.1	หมายถึง ไม่มีอันตราย
$0.1 \leq HQ \leq 1.0$	หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับต่ำ
$1.0 < HQ \leq 10$	หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับปานกลาง
HQ > 10	หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับสูง

กรณีที่ร่างกายได้รับสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งมากกว่า 1 ชนิด United states environmental protection agency (1989) กำหนดให้หาเป็นค่า Hazard index (HI) ซึ่งเป็นค่าผลรวมของค่า HQ ที่เกิดจากสารมลพิษแต่ละชนิด โดยสมมติให้ระดับผลกระทบที่ร่างกายได้รับ แปรผันตามผลรวมของการได้รับสารมลพิษแต่ละชนิด คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$HI \text{ (Hazard index)} = \sum HQ_i \quad (4)$$

เมื่อ HI = ผลรวมความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

HQ<sub>i</sub> = ค่าสัดส่วนความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

ถ้า HI มีค่ามากกว่า 1.00 หมายถึง ผู้รับสัมผัสสารมลพิษควรมีการตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพของสารมลพิษชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งที่อาจเกิดขึ้นได้ และจะถือว่าเป็นค่าที่ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป

การประเมินความเป็นพิษสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ทำการพิจารณาทั้งผลกระทบต่ออาการก่อมะเร็ง และอันตรายอื่นนอกเหนือจากมะเร็ง โดยตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกความเป็นอันตรายในการก่อมะเร็ง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันการก่อให้เกิดมะเร็ง (Slope factor: SF) และค่าปริมาณความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐาน (Reference concentration: R<sub>f</sub>C) ตามลำดับ ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิดผ่านการรับสัมผัสผ่านทางหายใจ ซึ่งจะมีค่าคงที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังตาราง 11

การประเมินลักษณะของความเสียหายจะนำค่าที่ได้มาประเมินความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งและความเสียหายอันตรายอื่น ๆ ต่อสุขภาพนอกจากมะเร็ง โดยการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านการหายใจ การอธิบายลักษณะของความเสียหายต่อสุขภาพ โดยแบ่งการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินความเสี่ยงจากสารมลพิษต่อเกิดมะเร็ง และการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพต่อการเกิดโรคอื่น ๆ ทั้งโรคแบบเฉียบพลันและโรคเรื้อรัง ซึ่งคำนวณตามสมการที่ (5) และสมการที่ (6) ตามลำดับ

$$\text{Cancer risk} = I_{\text{inhalation}} \times \text{SF} \quad (5)$$

$$\text{Non cancer risk} = I_{\text{inhalation}} \times R_f C \quad (6)$$

เมื่อ  $I_{\text{inhalation}}$  = ปริมาณสารมลพิษที่ได้รับ  
(มิลลิกรัม/น้ำหนักของร่างกายเป็นกิโลกรัม/วัน)

SF = Slope factor สารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด  
(กิโลกรัม/วัน/ มิลลิกรัม)

$R_f C$  = ปริมาณอ้างอิง (มิลลิกรัม/ กิโลกรัม/วัน)

สารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดมีการรายงานว่าเป็นสารก่อมะเร็ง หรือมีโอกาสพัฒนาเป็นสารก่อมะเร็งนั้น เมื่อมนุษย์ได้รับสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย แต่ยังไม่มีการรายงานชัดเจนเกี่ยวกับความสามารถหรือการทำนายโอกาสการเกิดมะเร็งในร่างกายเมื่อได้รับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นระยะเวลานาน ในการจัดจำแนกสารก่อมะเร็ง อ้างอิงจากความหมายของการแบ่งกลุ่มสารก่อมะเร็งขององค์กร IARC แสดงดังตาราง 12 และตัวอย่างสารก่อมะเร็งแสดงดังตาราง 13

## 2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษานี้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive statistic) รายงานผลในรูปแบบของร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และสถิติอ้างอิง (Inferential statistic) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics subscription 28 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) post hoc multiple comparison ด้วยวิธี Least significance difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิดทั้ง 83 ชนิดในแต่ละบริเวณจุดเก็บตัวอย่างใน 2 ช่วงเวลา





## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนและเพื่อประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ ผ่านการสัมผัสทางการหายใจ ทั้งชนิดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen risk) และความเสี่ยงอันตรายอื่น ๆ นอกจากมะเร็ง (Non-carcinogen risk) ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยมีการนำเสนอผลการศึกษารอบคอบประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชน

ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สภาพอุณหภูมิมิถวิทยา บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง

ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ

ส่วนที่ 4 ผลการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสารกลุ่มบีเทค (BTEXS) ผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ

#### ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชน

การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย พบว่าขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในจังหวัดปทุมธานี มีปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยวันละ 600-1,000 ตันต่อวัน ประกอบด้วยขยะมูลฝอยทั้งชนิดเปียกและแห้ง ซึ่งได้ถูกรวบรวมและขนส่งมากำจัดด้วยวิธีเทกองกลางแจ้ง บริเวณสถานที่กำจัดขยะที่เป็นพื้นที่ศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างขยะอย่างน้อย 50 กิโลกรัม จากบริเวณจุดรวบรวมขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2565 นำมาศึกษาองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชน ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะ (Quartering) ซึ่งสามารถจำแนกองค์ประกอบทางกายภาพ (Composition) ของขยะมูลฝอย แสดงดังตาราง 18

ตาราง 18 การจำแนกองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย

องค์ประกอบของขยะ	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ขยะอินทรีย์ (เศษผักผลไม้และเศษอาหาร)	24.09	48.18
พลาสติก	19.33	38.66
ยางและหนัง	1.80	3.60
แก้ว	0.66	1.32
โลหะ	0.45	0.90
สิ่งทอ	0.41	0.82
ซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	0.33	0.66
หิน กรวด กระเบื้อง	0.21	0.58
กระดาษ	0.23	0.46
อื่น ๆ	2.49	4.98
รวม	50.00	100.00

การจำแนกองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะ (Quartering) และปริมาณขยะมูลฝอยจากบริเวณจุดรวบรวบขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งทั้งสิ้น 6 ครั้ง จากการจำแนกองค์ประกอบขยะมูลฝอย 50 กิโลกรัม โดยแบ่งประเภทองค์ประกอบตามลักษณะของขยะมูลฝอยอ้างอิงวิธีการตาม ASTM Designation: D 5231-92 Standard test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste และวิธีการคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดมูลฝอย ซึ่งประกาศใช้เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2564 โดยแบ่งองค์ประกอบ ได้แก่ กระดาษ พลาสติก เศษผ้า ไม้ เศษอาหาร แก้ว กระเบื้องโลหะ กระเบื้องโลหะ ยาง ซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และขยะอื่น ๆ พบความหนาแน่นปกติ (Bulk density) เท่ากับ 0.129 กิโลกรัมต่อลิตร จากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่มีน้ำหนักมากและมีความชื้นเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่เศษอาหาร เศษผักผลไม้ และเศษใบไม้ ซึ่งพบปริมาณมากที่สุด 24.09 กิโลกรัม (ร้อยละ 48.18) ขยะพลาสติก พบปริมาณรองลงมา 19.33 กิโลกรัม (ร้อยละ 38.66) ยางและหนัง 1.80 กิโลกรัม (ร้อยละ 3.60) แก้ว 0.66 กิโลกรัม (ร้อยละ 1.32) โลหะ 0.45 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.90) สิ่งทอ 0.41 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.82) ซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 0.33 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.66) หิน กรวด และกระเบื้อง 0.21 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.58) กระดาษ 0.23 กิโลกรัม

(ร้อยละ 0.46) และขยะมูลฝอยอื่น ๆ ที่ไม่สามารถจำแนกองค์ประกอบขยะมูลฝอยได้ 2.49 กิโลกรัม (ร้อยละ 4.98) ตามลำดับ ดังนั้นขยะมูลฝอยในพื้นที่มีลักษณะและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ซึ่งขยะเหล่านี้เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคนในพื้นที่ตามมาได้

## ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์สภาพอุตุนิยมวิทยา บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง

การศึกษานิตและความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ความเร็วลม (m/s) ความชื้น (%) และความกดอากาศ (hPa) ทั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั่วไปสำหรับการตรวจวัดในช่วงเช้าและบ่าย แสดงดังตาราง 19 และตาราง 20

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พบข้อมูลอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย  $30.70 \pm 0.33$  องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ มีค่าเฉลี่ย  $35.30 \pm 0.32$  องศาเซลเซียส ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย  $2.42 \pm 0.34$  เมตรต่อวินาที ซึ่งพบว่าความเร็วลมคงที่และมีลมพัดตลอดเวลา ระหว่างช่วงการเก็บตัวอย่าง ความชื้นในบรรยากาศมีค่าเฉลี่ย 73.60 % และความกดอากาศในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ตำแหน่ง มีค่าเท่ากันคือ 1,005 เฮกโตพาสคาล แสดงดังตาราง 19

ตาราง 19 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.)

จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิบรรยากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )	อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ความเร็วลม (m/s)	ความชื้น (%)	ความกดอากาศ (hPa)
S1	30.40	35.30	2.50	73	1,005
S2	30.70	35.30	2.80	76	1,005
S3	30.60	34.80	2.60	73	1,005
S4	30.80	35.60	1.90	73	1,005
S5	31.30	35.60	2.30	73	1,005
ค่าเฉลี่ย	$30.70 \pm 0.33$	$35.30 \pm 0.32$	$2.42 \pm 0.34$	73.60	1,005

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) จากการตรวจวัดพบอุณหภูมิในทุกจุดสูงกว่าในช่วงเช้า โดยมีค่าเฉลี่ย  $41.16 \pm 1.77$  องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์มีค่าเฉลี่ย  $50.90 \pm 0.49$  องศาเซลเซียส ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย  $0.90 \pm 0.38$  เมตรต่อวินาที ซึ่งพบว่าความเร็วลมค่อนข้างต่ำ อากาศนิ่ง อุณหภูมิสูงตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างอากาศ ความชื้นในบรรยากาศมีค่าเฉลี่ย 36.80 % และความกดอากาศมีค่าเฉลี่ย  $1,008.20 \pm 0.44$  เฮกโตพาสคาล แสดงดังตาราง 20

ตาราง 20 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.)

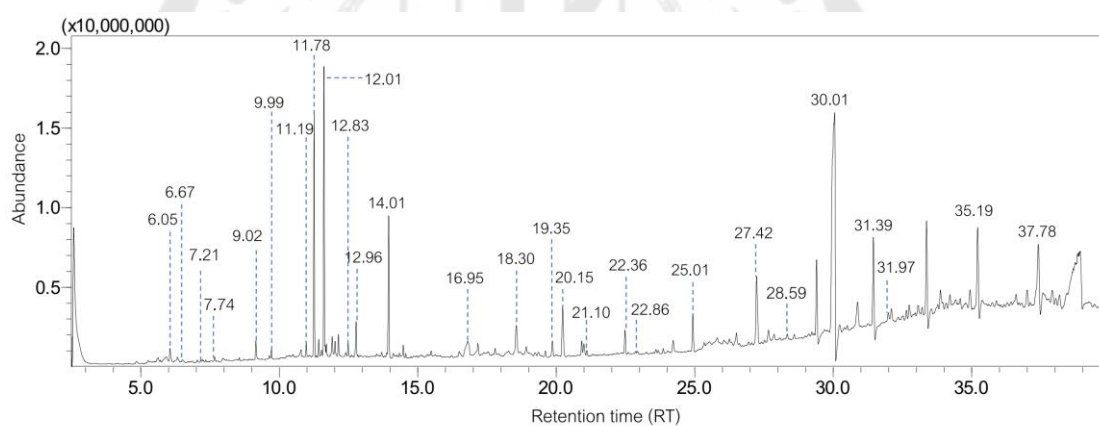
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิบรรยากาศ (°C)	อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	ความชื้น (%)	ความกดอากาศ (hPa)
S1	41.30	51.10	0.90	37	1,008
S2	44.20	51.30	1.20	37	1,008
S3	45.500	51.40	0.70	37	1,008
S4	41.90	50.50	0.50	36	1,008
S5	43.90	50.30	1.20	37	1,009
ค่าเฉลี่ย	$41.16 \pm 1.77$	$50.90 \pm 0.49$	$0.90 \pm 0.38$	36.80	$1,008.20 \pm 0.44$

จากภาพรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงบ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเช้าพบว่า อุณหภูมิบรรยากาศและในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ในทุกจุดเก็บตัวอย่างของช่วงบ่ายมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าช่วงเช้านอกจากนี้ความเร็วลมและความชื้นในช่วงบ่ายมีค่าเฉลี่ยลดลง

### ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ

จากการเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ในเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนมกราคม 2566 แบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) โดยเก็บตัวอย่างและทำซ้ำ 3 ครั้ง บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด (S1-S5) รวมทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละช่วงเวลา โดยเก็บตัวอย่างในภาชนะปิดด้วยอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ (Flux chamber) ครอบคลุมทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา

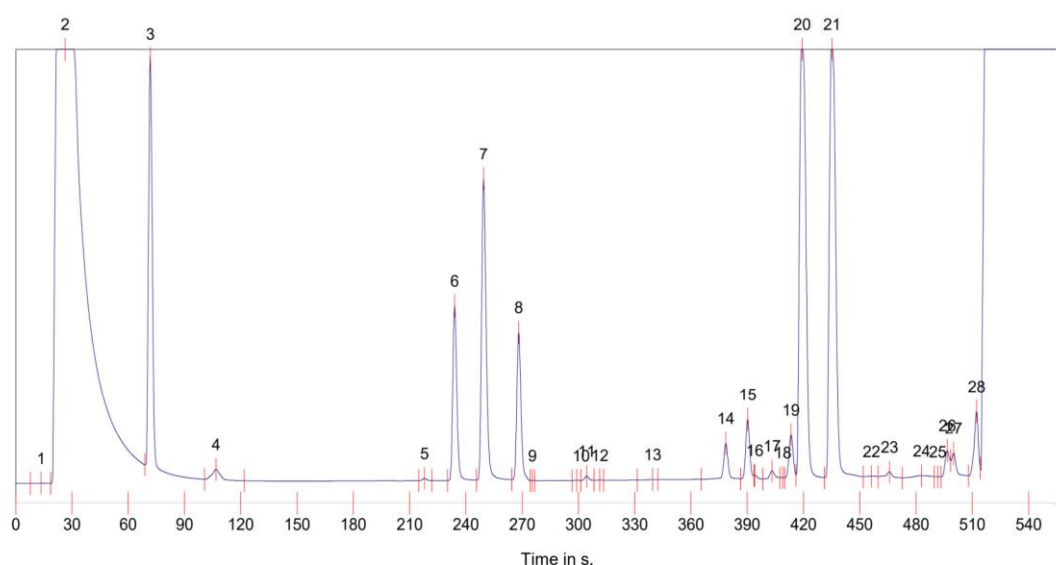
การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatography-mass spectrometry: GC-MS) ในรูปแบบการวิเคราะห์ Simple mode เพื่อระบุชนิดและหาค่า Retention time ของตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย ผู้วิจัยได้เลือกใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดมวลต่อประจุ ( $m/z$ ) ของสารประกอบ บันทึกในรูปแบบสเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งเป็นเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรีที่ใช้งานร่วมกับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีนั้น สามารถใช้แมสสเปกตรัมของสารประกอบที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับความเหมือนและความคล้ายคลึง (Match and similarity) ของสารที่ทำการวิเคราะห์กับแมสสเปกตรัมที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเพื่อทำนายชนิดและความน่าจะเป็นของสารได้ จึงสามารถวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้โดยไม่ต้องใช้สารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ การวิเคราะห์แสดงผลในรูปแบบโครมาโทแกรมเปรียบเทียบเพื่อระบุและยืนยันโครงสร้างกับฐานข้อมูลแมสสเปกตรัมของ National institute of standards and technology (NIST) ตัวอย่างผลโครมาโทแกรม แสดงดังภาพประกอบ 15



6.05 n-Heptane	6.67 Cyclohexanone	7.21 Nonane	7.74 Heptane
9.02 Methyl ester	9.99 Benzene	11.19 Acrylamide	11.78 1,1-Dimethylethyl
12.01 Alloaromadendrene	12.83 Isopropyl	12.96 Hexanoic acid	14.01 Guaiol
16.95 Isopropyl ether	17.30 Acetic acid	19.35 Tridecanoic acid	20.15 Carbonic acid
21.10 1-Cyclohexane	22.36 Tetradecane	22.86 Phthalic acid	25.01 Benzoic acid
27.42 Toluene	28.59 Naphthalene	30.01 1,4-Methanol	31.39 Ethylbenzene
35.19 Xylene	37.78 2,3,3-Trimethylbutane		

ภาพประกอบ 15 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากตัวอย่างอากาศ ด้วยการวิเคราะห์ GC-MS เทียบกับค่า Retention time (RT) ของฐานข้อมูล NIST

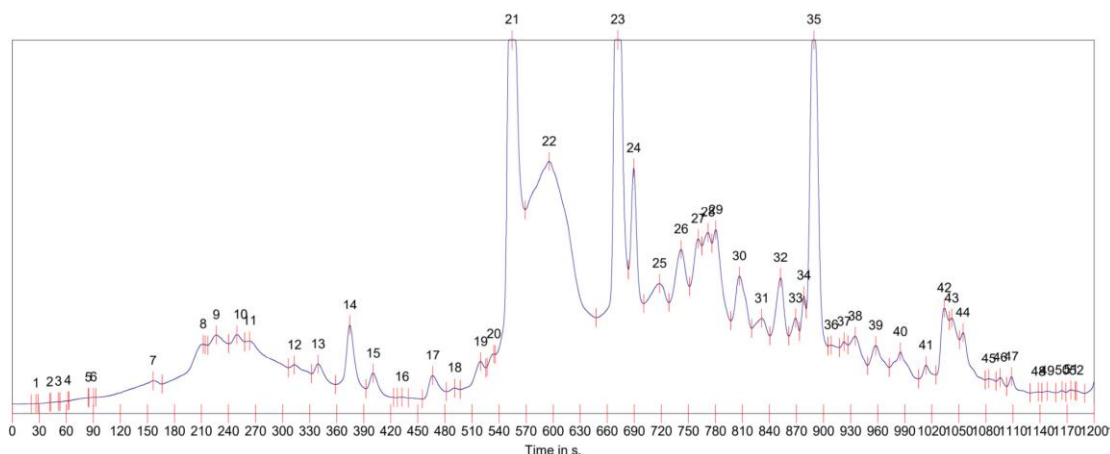
นอกจากนี้การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ ด้วยการแตกตัวเป็นไอออนของเปลวไฟ (Gas chromatography-flame ionization detector: GC-FID) จากเครื่องมือ Airmo VOCs analyzer เพื่อหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง พบสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีช่วงคาร์บอนต่ำ (C2-C6) และช่วงคาร์บอนสูง (C6-C12) เป็นองค์ประกอบ แสดงดังผลตัวอย่างโครมาโทแกรมในภาพประกอบ 16 และภาพประกอบ 17 ตามลำดับ



1 (Ethane)	2 (Ethylene)	3 (Propane)	4 (Freon-12)
5 (Propene)	6 (i-Butane)	7 (n-Butane)	8 (Acetylene)
9 (trans-2-Butane)	10 (Chloromethane)	11 (1-Butene)	12 (i-Butene)
13 (Vinyl chloride)	14 (cis-2-Butene)	15 (Cyclopentene)	16 (Freon-11)
17 (i-Pentane)	18 (n-Pentane)	19 (1,3-Butadiene)	20 (1,1-Dichloroethene)
21 (trans-2-Pentene)	22 (1-Pentene)	23 (cis-2-Pentene)	24 (2,2-Dime-butane)
25 (Me-cyclopentane)	26 (Dichloromethane)	27 (2,3-Dime-butane)	28 (2-Me-pentane)
29 (3-Me-pentane)	30 (n-Hexane)	31 (Isoprene)	32 (Freon-113)
33 (2-Me-1-pentene)	34 (1-Hexene)	35 (2,4-Dime-pentane)	

ภาพประกอบ 16 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดคาร์บอนต่ำ (C2-C6) ที่ตรวจพบด้วยเทคนิค GC-FID ในช่วงเวลา 510 วินาที



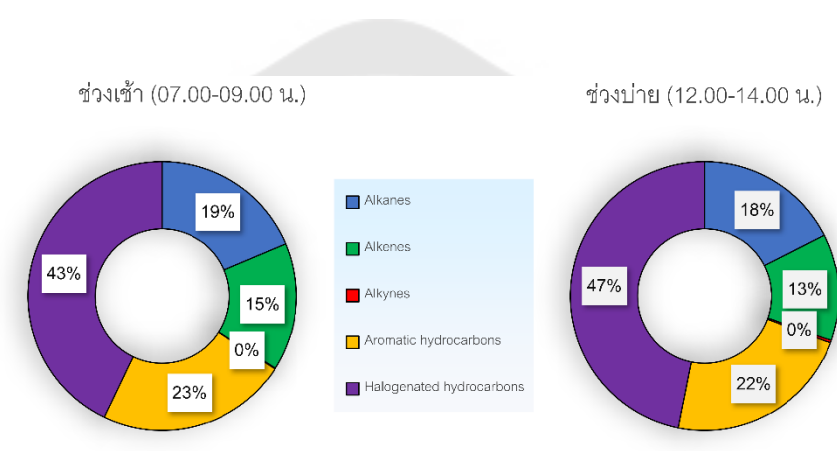


1 (2,2-Dime-butane)	2 (1,1-Dichloroethane)	3 (C-1,2-dicl-ethane)	4 (Chloroform)
5 (1,2-Dichloroethane)	6 (1,1,1-Tricl-ethane)	7 (Benzene)	8 (CCl <sub>4</sub> )
9 (Cyclohexane)	10 (2,3-Dimec5+2mec6)	11 (3-Me-hexane)	12 (1,2-Dicl-propene)
13 (Trichloroethene)	14 (2,2,4-Tme-pentane)	15 (n-Heptane)	16 (T-1,3-dicl-propen)
17 (Me-cyclohexane)	18 (C-1,3-dicl-propene)	19 (1,1,2-Tricl-ethane)	20 (2,3,4-Tme-pentane)
21 (Toluene)	22 (2-Me-heptane)	23 (3-Me-heptane)	24 (1,2-Dibromoethane)
25 (n-Octane)	26 (Tetrachloroethene)	27 (Chlorobenzene)	28 (Ethylbenzene)
29 (m&p-Xylenes)	30 (Styrene)	31 (o-Xylene)	32 (n-Nonane)
33 (l-propyl benzene)	34 (α-Pinene)	35 (n-Propyl benzene)	36 (m-Ethyl toluene)
37 (p-Ethyl toluene)	38 (1,3,5-Tmb)	39 (o-Ethyl Toluene)	40 (β-Pinene)
41 (1,2,4-Tmb)	42 (1,3-Dicl-benzene)	43 (n-Decane)	44 (1,4-Dicl-benzene)
45 (1,2,3-Tmb)	46 (1,2-Dicl-benzene)	47 (m-Diethyl Benzene)	48 (p-Dimethylbenzene)
49 (n-Undecane)	50 (1,2,4-Tricl-benzene)	51 (n-Dodecane)	52 (Hexcl-1,3-butadien)

ภาพประกอบ 17 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดคาร์บอนสูง (C6-C12) ที่ตรวจพบด้วยเทคนิค GC-FID ในช่วงเวลา 690 วินาที

การวิเคราะห์ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง โดยใช้เทคนิค GC-MS และ GC-FID พบตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ดังนี้ อีเทน (Ethane), เอทิลีน (Ethylene), โพรเพน (Propane), ฟรีออน-12 (Freon-12), โพรพีน (Propene), ไอ-บิวเทน (i-Butane), เอน-บิวเทน (n-Butane), อะซีทิลีน (Acetylene), ทราน-2-บิวเทน (trans-2-Butane), คลอโรมีเทน (Chloromethane), 1-บิวทีน (1-Butene), ไอ-บิวทีน (i-Butene), 2,2-ไดเมทิลบิวเทน (2,2-Dime-butane), 1,1-ไดคลอโรอีเทน (1,1-Dichloroethane), คลอโรฟอร์ม (Chloroform), ซี-1,2-ไดคลอโรอีเทน (C-1,2-dicl-ethane), เบนซีน (Benzene), 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane), 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>), ไฮไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) และ 3-เมทิลเฮกเซน (3-Me-hexane)

การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย สามารถจำแนกกลุ่มสารประกอบตามโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จำแนกสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแอลเคน (Alkanes) แอลคีน (Alkenes) แอลไคน์ (Alkynes) อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) และสารประกอบฮาโลเจน (Halogen compounds) สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามการจำแนกกลุ่มของสารประกอบข้างต้นในช่วงเช้า คิดเป็นร้อยละ 19, 15, 0, 23 และ 43 ตามลำดับ และสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในช่วงบ่าย คิดเป็นร้อยละ 18, 13, 0, 23 และ 47 ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละกลุ่มที่พบทั้งสองช่วงเวลา บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่างรวมกัน (S1-S5) ที่จำแนกออกเป็น 5 กลุ่มตามความแตกต่างของโครงสร้าง ประกอบด้วยจำนวนสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด โดยเก็บตัวอย่างอากาศที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) พบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ 3-เมทิลเฮปเทน (3-Me-heptane) เอน-ออกเทน (n-Octane) เอน-เดคเคน (n-Decane) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane) และ 1,2-ไดโบรโมอีเทน (1,2-Dibromoethane) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้ง 83 ชนิด ระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดเดียวกันระหว่างช่วงเช้ากับช่วงบ่ายมีทั้งค่าที่แตกต่างกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) แสดงดังตาราง 21

ตาราง 21 ความเข้มข้นเฉลี่ยสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด จากตัวอย่างอากาศ บริเวณสถานที่  
กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $X \pm SD$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
<b>Alkanes</b>						
1	Ethane	0.69±0.27	5.12±2.95	2.90±1.17	0.000	แตกต่างกัน
2	Propane	14.64±8.33	64.31±7.37	39.48±10.79	0.022	แตกต่างกัน
3	i-Butane	0.02±0.07	0.12±0.11	0.07±0.10	0.010	แตกต่างกัน
4	n-Butane	1.18±0.73	1.24±0.17	1.21±0.07	0.939	ไม่แตกต่างกัน
5	Cyclopentane	0.13±0.04	0.21±0.08	0.17±0.06	0.728	ไม่แตกต่างกัน
6	i-Pentane	2.03±0.44	11.47±7.17	6.75±4.12	0.000	แตกต่างกัน
7	n-Pentane	2.68±0.89	19.69±4.30	11.18±7.33	0.000	แตกต่างกัน
8	2,2-Dime-butane	0.90±0.86	12.26±9.26	6.58±5.74	0.000	แตกต่างกัน
9	Me-cyclopentane	1.01±0.87	14.21±8.99	7.61±5.26	0.000	แตกต่างกัน
10	2,3-Dime-butane	0.23±0.78	8.25±7.11	4.24±3.43	0.000	แตกต่างกัน
11	2-Me-pentane	0.04±0.12	4.06±4.70	2.05±2.85	0.003	แตกต่างกัน
12	3-Me-pentane	0.62±0.16	12.60±9.49	6.61±5.02	0.000	แตกต่างกัน
13	n-Hexane	50.48±7.67	53.08±20.24	51.78±27.72	0.929	ไม่แตกต่างกัน
14	2,4-Dime-pentane	0.18±0.43	280.86±68.03	140.52±64.64	0.000	แตกต่างกัน
15	Cyclohexane	43.82±7.56	162.00±42.72	102.91±26.44	0.008	แตกต่างกัน
16	2,3-Dimec5+2mec6	24.77±6.74	107.56±95.24	66.16±20.76	0.010	แตกต่างกัน
17	3-Me-hexane	1.11±0.31	475.42±30.58	238.27±34.31	0.000	แตกต่างกัน
18	2,2,4-Tme-pentane	12.38±18.84	0.14±0.54	6.26±3.58	0.233	ไม่แตกต่างกัน
19	n-Heptane	183.01±130.67	1,010.78±75.29	596.90±576.17	0.000	แตกต่างกัน
20	Me-cyclohexane	32.35±25.28	231.97±64.61	132.16±127.34	0.013	แตกต่างกัน
21	2,3,4-Tme-pentane	5.43±3.92	ND	2.72±2.76	0.000	แตกต่างกัน
22	2-Me-heptane	ND	502.72±64.05	251.36±159.35	0.000	แตกต่างกัน
23	3-Me-heptane	ND	ND	ND	-	-
24	n-Octane	ND	ND	ND	-	-
25	n-Nonane	779.81±92.04	1,679.63±114.63	1,229.72±424.29	0.026	แตกต่างกัน
26	n-Decane	ND	ND	ND	-	-
27	n-Undecane	334.24±306.43	521.42±502.75	427.83±405.42	0.268	ไม่แตกต่างกัน
28	n-Dodecane	45.68±36.82	397.21±293.87	221.44±204.24	0.000	แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1,537.43±650.27	5,576.33±1,434.25	3,556.88±2,122.96	-	-
<b>Alkenes</b>						
29	Ethylene	31.15±23.92	155.7±15.84	93.43±61.63	0.001	แตกต่างกัน
30	Propene	0.01±0.02	0.35±0.77	0.18±0.57	0.099	ไม่แตกต่างกัน
31	trans-2-Butene	0.01±0.03	0.14±0.14	0.01±0.02	0.138	ไม่แตกต่างกัน
32	cis-2-Butene	0.11±0.01	0.47±0.58	0.29±0.47	0.030	แตกต่างกัน
33	1,3-Butadiene	1.98±0.46	74.74±6.05	38.36±35.95	0.000	แตกต่างกัน

ตาราง 21 (ต่อ)

ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $X \pm SD$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
34	trans-2-Pentene	0.10±0.21	0.88±0.77	0.49±0.68	0.001	แตกต่างกัน
35	1-Pentene	0.21±0.01	3.36±4.93	1.78±3.78	0.020	แตกต่างกัน
36	cis-2-Pentene	0.53±0.16	0.29±0.13	0.41±0.13	0.579	ไม่แตกต่างกัน
37	Isoprene	983.29±396.81	1,287.15±331.78	1,135.22±449.81	0.479	ไม่แตกต่างกัน
38	2-Me-1-pentene	170.24±42.31	1,130.22±123.85	650.23±464.44	0.004	แตกต่างกัน
39	1-Hexene	11.79±0.62	ND	5.89±4.26	0.000	แตกต่างกัน
40	$\alpha$ -Pinene	415.41±55.26	1,645.75±77.45	1,030.58±669.11	0.006	แตกต่างกัน
41	$\beta$ -Pinene	346.98±85.94	901.36±39.44	624.17±304.48	0.016	แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1,961.81±605.76	5,200.41±601.73	3,581.04±1,995.33	-	-
Alkynes						
42	Acetylene	1.18±1.17	25.01±0.53	13.11±12.66	0.002	แตกต่างกัน
Aromatic Hydrocarbons						
43	Benzene*	69.67±48.69	406.83±28.08	238.25±175.31	0.000	แตกต่างกัน
44	Toluene*	490.69±29.67	2,261.77±318.82	1,376.23±319.09	0.000	แตกต่างกัน
45	Ethylbenzene*	66.45±5.49	322.93±59.76	194.69±189.65	0.013	แตกต่างกัน
46	m&p-Xylenes*	400.90±6.75	652.12±19.88	526.51±98.49	0.020	แตกต่างกัน
47	Styrene*	11.33±2.07	274.41±3.15	142.87±131.28	0.000	แตกต่างกัน
48	o-Xylene*	25.31±6.12	78.87±58.70	52.09±2.66	0.016	แตกต่างกัน
49	i-Propyl benzene	23.47±25.41	93.30±85.82	58.38±71.61	0.005	แตกต่างกัน
50	n-Propyl benzene	14.85±5.05	80.07±7.78	47.46±71.57	0.010	แตกต่างกัน
51	m-Ethyl toluene	29.14±5.42	79.47±9.88	54.30±46.85	0.020	แตกต่างกัน
52	p-Ethyl toluene	31.51±9.95	376.38±61.65	203.95±204.98	0.000	แตกต่างกัน
53	1,3,5-Tmb	32.01±33.22	282.95±212.42	157.48±96.47	0.000	แตกต่างกัน
54	o-Ethyl toluene	31.92±50.32	159.46±133.77	95.69±18.61	0.002	แตกต่างกัน
55	1,2,4-Tmb	16.34±30.86	134.38±147.63	75.36±20.77	0.005	แตกต่างกัน
56	1,2,3-Tmb	39.57±38.35	206.02±154.09	122.79±139.06	0.000	แตกต่างกัน
57	m-Diethyl benzene	5.86±0.94	44.96±0.89	25.41±18.74	0.005	แตกต่างกัน
58	p-Diethyl benzene	46.14±38.93	73.02±49.23	59.58±45.70	0.108	ไม่แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1,335.16±337.24	5,526.94±1,351.55	3,431.04±2,550.84	-	-
Halogenated Hydrocarbons						
59	Freon-12	0.82±0.77	ND	0.91±4.79	0.306	ไม่แตกต่างกัน
60	Chloromethane	0.07±0.17	0.01±0.02	0.10±0.16	0.202	ไม่แตกต่างกัน
61	Vinyl chloride	0.09±0.25	1.21±0.86	0.65±0.84	0.200	ไม่แตกต่างกัน
62	Freon-11	3.80±8.95	0.14±0.56	1.97±6.50	0.126	ไม่แตกต่างกัน
63	Dichloromethane	0.87±1.81	ND	0.43±1.33	0.278	ไม่แตกต่างกัน
64	Freon-113	651.70±549.05	1,156.86±108.19	904.28±151.95	0.002	แตกต่างกัน

ตาราง 21 (ต่อ)

ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
65	1,1-Dichloroethane	12.67±4.18	ND	6.33±5.33	0.000	แตกต่างกัน
66	c-1,2-Dicl-ethene	126.73±3.31	ND	63.36±58.97	0.000	แตกต่างกัน
67	Chloroform	69.81±30.38	24.83±8.05	47.32±19.75	0.312	ไม่แตกต่างกัน
68	1,2-Dichloroethane	44.69±4.99	825.31±81.77	435.00±419.83	0.002	แตกต่างกัน
69	1,1,1-Tricl-ethane	177.27±33.02	1,188.76±174.47	683.02±632.33	0.002	แตกต่างกัน
70	$\text{CCl}_4$	267.32±59.80	2,229.49±40.10	1,248.40±825.41	0.000	แตกต่างกัน
71	1,2-Dicl-propene	86.97±53.25	206.76±85.77	146.87±108.07	0.064	ไม่แตกต่างกัน
72	Trichloroethene	499.31±77.16	1,789.95±1,059.07	1,144.63±913.63	0.001	แตกต่างกัน
73	t-1,3-Dicl-propene	ND	424.32±68.22	212.16±194.69	0.000	แตกต่างกัน
74	c-1,3-Dicl-propene	8.41±1.76	167.55±170.64	87.98±145.23	0.001	แตกต่างกัน
75	1,1,2-Tricl-ethane	ND	ND	ND	-	-
76	1,2-Dibromoethane	ND	ND	ND	-	-
77	Tetrachloroethene	140.06±136.56	712.98±655.48	426.52±548.92	0.003	แตกต่างกัน
78	Chlorobenzene	6.90±0.07	1473.25±3.85	740.08±652.48	0.002	แตกต่างกัน
79	1,3-Dicl-benzene	38.25±17.64	510.82±372.61	274.54±266.36	0.000	แตกต่างกัน
80	1,4-Dicl-benzene	10.65±6.73	258.00±179.36	134.32±107.45	0.000	แตกต่างกัน
81	1,2-Dicl-benzene	63.17±48.09	152.99±50.42	108.08±17.83	0.053	ไม่แตกต่างกัน
82	1,2,4-Tricl-benzene	61.45±6.67	343.13±31.83	202.29±96.77	0.005	แตกต่างกัน
83	Hexcl-1,3-butadien	9.67±7.42	120.88±86.62	65.27±82.75	0.000	แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	2,281.68±1,052.03	11,587.24±3,177.89	6,934.51±5,261.37	-	-
	$\Sigma$ 83 VOCs	7,117.26±2,646.47	27,915.93±6,565.95	17,516.58±11,943.16	-	-

หมายเหตุ: ND (Not detected) หมายถึง ตรวจไม่พบสารข้างต้น, \* หมายถึง สารประกอบกลุ่มนี้  
เป็นเทคโนโลยีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

จากตาราง 21 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้จากบริเวณ  
สถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่างรวมกัน (S1-S5) ความเข้มข้นเฉลี่ย  
ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตลอดทั้งวัน ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) เรียงลำดับ  
ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบได้จากมากไปน้อย ดังนี้ โทลูอิน  
 $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $1,248.40 \pm 825.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  
 $1,229.72 \pm 424.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทีลีน  $1,144.63 \pm 913.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และไอโซพรีน  
 $1,135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารายจุดที่เก็บตัวอย่าง พบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงเช้า จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านซ้ายของพื้นที่เทกองขยะ (S1) พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ ไอโซพรีน  $1,129.21 \pm 103.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $777.81 \pm 77.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $667.10 \pm 60.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $656.34 \pm 136.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $616.14 \pm 59.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $479.26 \pm 61.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $414.19 \pm 14.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-อันเดเคน  $272.08 \pm 22.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-เฮปเทน  $149.50 \pm 19.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเตตระคลอโรอีเทน  $122.35 \pm 17.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงบ่าย จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านซ้ายของพื้นที่เทกองขยะ พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ ไอโซพรีน  $3,693.03 \pm 118.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $2,906.81 \pm 120.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $2,443.68 \pm 81.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $1,258.66 \pm 12.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $1,195.62 \pm 172.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรอีเทน  $1,013.30 \pm 29.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอทิลเบนซีน  $933.12 \pm 33.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-อันเดเคน  $840.56 \pm 140.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $709.70 \pm 24.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ 1,3-ไดคลอโรเบนซีน  $675.34 \pm 20.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจไม่พบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ได้แก่ ไดคลอโรมีเทน 1-เฮกซีน ฟริออน-12 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน และสไตรีน แสดงดังภาพประกอบ 19

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงเช้า จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านขวาของพื้นที่เทกองขยะ (S2) พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ เมตาและพารา-ไซลีน  $1,093.57 \pm 194.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไอโซพรีน  $827.36 \pm 127.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟริออน-113  $679.67 \pm 77.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $615.20 \pm 65.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-อันเดเคน  $534.80 \pm 34.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $495.38 \pm 67.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $306.44 \pm 28.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $215.81 \pm 28.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $215.19 \pm 16.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเบนซีน  $181.48 \pm 14.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงบ่าย จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านขวาของพื้นที่เทกองขยะ พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ โทลูอีน  $2,686.81 \pm 169.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $1,519.00 \pm 163.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $1,286.49 \pm 20.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $855.98 \pm 59.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบนซีน  $751.70 \pm 115.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $700.84 \pm 69.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟริออน-113  $674.55 \pm 22.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไอโซพรีน  $633.66 \pm 68.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$  พี-เอทิลโทลูอีน  $501.54 \pm 57.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเอน-โนเนน  $498.77 \pm 58.42$



$\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจไม่พบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ได้แก่ ฟริออน-12 เอน-ออกเทน ไดคลอโรมีเทน 1,2-ไดโบรโมอีเทน และเอน-ออกเทน แสดงดังภาพประกอบ 20

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงเช้า จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศกึ่งกลางของพื้นที่เทกองขยะ (S3) พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ ไอโซพรีน  $1,537.09 \pm 80.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟริออน-113  $965.33 \pm 72.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $908.80 \pm 95.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $632.86 \pm 96.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $627.74 \pm 46.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน  $574.86 \pm 17.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-อันเดคเคน  $481.41 \pm 14.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอิน  $293.08 \pm 55.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $238.66 \pm 45.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และแอลฟา-ไพเนน  $231.10 \pm 25.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงบ่าย จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศกึ่งกลางของพื้นที่เทกองขยะ พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ คลอโรเบนซีน  $3,575.62 \pm 173.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $2,601.43 \pm 57.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $2,305.62 \pm 66.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน  $1,706.19 \pm 132.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $1,685.16 \pm 28.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เตตระคลอโรเอทิลีน  $1,560.04 \pm 50.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,2-ไดคลอโรอีเทน  $1,458.58 \pm 86.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-เฮปเทน  $1,422.41 \pm 48.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอิน  $1,084.81 \pm 71.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และไอโซพรีน  $945.25 \pm 21.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจไม่พบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ได้แก่ ฟริออน-12 ฟริออน-11 ไดคลอโรมีเทน 1-เฮกซีน 3-เมทิลเฮปเทน และเอน-ออกเทน แสดงดังภาพประกอบ 21

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงเช้า จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านหน้าของพื้นที่เทกองขยะ (S4) พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ เอน-โนเนน  $1,289.19 \pm 120.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟริออน-113  $701.67 \pm 115.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  2-เมทิล-1-เพนเทน  $520.85 \pm 90.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอิน  $511.56 \pm 46.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไอโซพรีน  $459.97 \pm 28.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $410.85 \pm 50.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $242.19 \pm 30.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $201.99 \pm 29.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $276.75 \pm 16.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเอน-เฮปเทน  $272.62 \pm 10.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

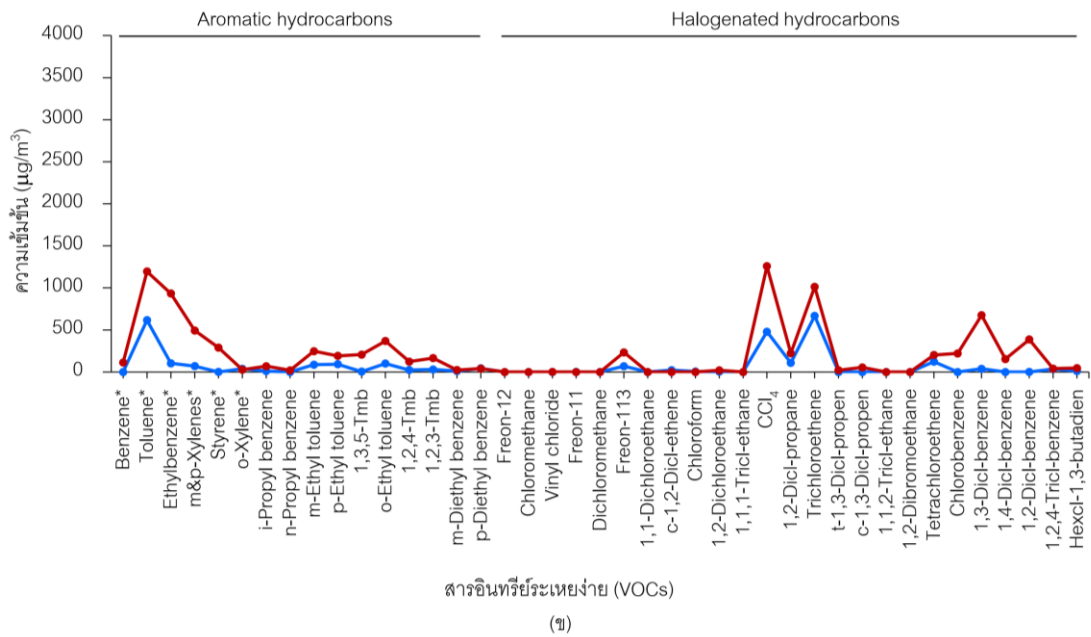
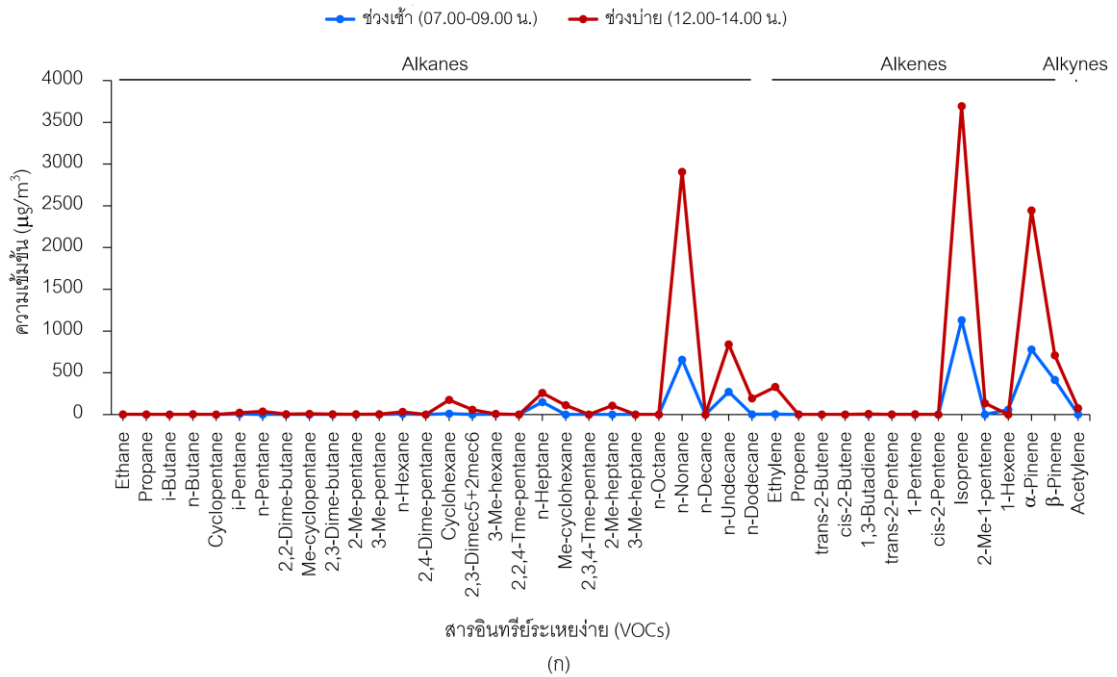
การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงบ่าย จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านหน้าของพื้นที่เทกองขยะ พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่

คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $3,154.87 \pm 153.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $2,942.90 \pm 159.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $2,766.51 \pm 178.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  2-เมทิล-1-เพนทีน  $2,558.11 \pm 162.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $2,404.10 \pm 198.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน  $1,897.24 \pm 24.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-เฮปเทน  $1,010.99 \pm 50.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $952.47 \pm 117.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,3-ไดคลอโรเบนซีน  $937.76 \pm 21.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ 3-เมทิล-เฮกเซน  $839.54 \pm 21.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจไม่พบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ได้แก่ โพรพิลไซโคลเพนเทน 1,1-ไดคลอโรอีเทน 3-เมทิล-เฮปเทน และ 1-เฮกซีน แสดงดังภาพประกอบ 22

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงเช้า จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านหลังของพื้นที่เทกองขยะ (S5) พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ ไดแก๊ส ไอโซพรีน  $962.80 \pm 17.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟริออน-113  $843.16 \pm 28.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $828.89 \pm 134.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $570.13 \pm 46.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $417.47 \pm 61.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $339.14 \pm 38.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $325.23 \pm 39.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $229.59 \pm 59.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-อันเดคเคน  $206.04 \pm 15.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเตตระคลอโรเอทิลีน  $170.27 \pm 56.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

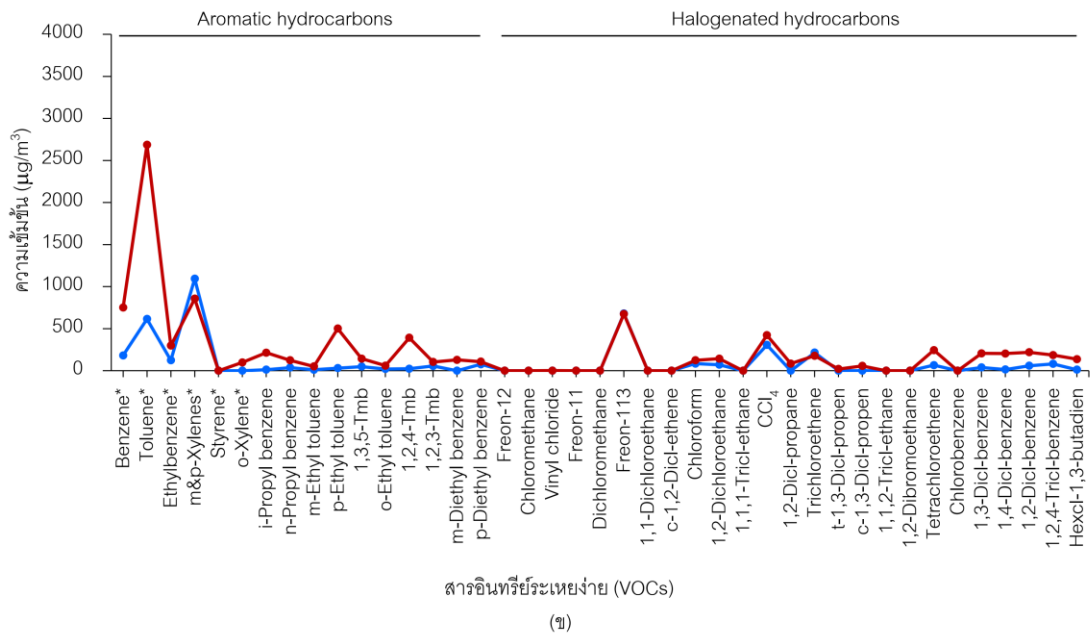
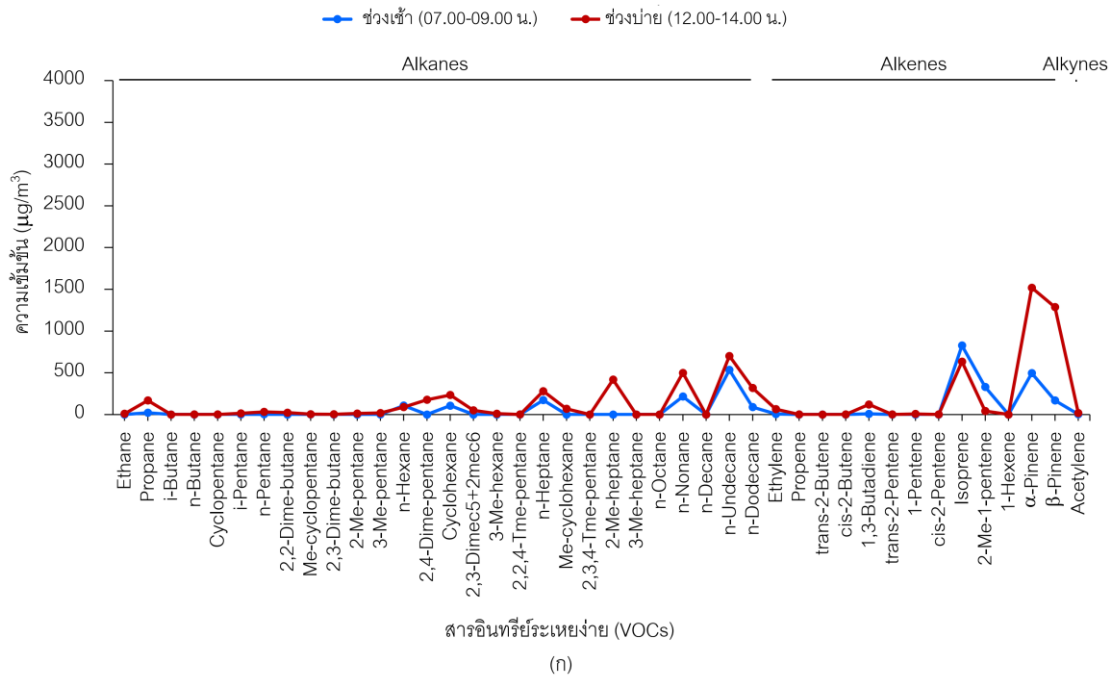
การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงบ่าย จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศด้านหลังของพื้นที่เทกองขยะ มีความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $3,709.72 \pm 163.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $3,575.07 \pm 177.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟริออน-113  $3,372.73 \pm 102.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $3,049.19 \pm 63.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คลอโรเบนซีน  $3,002.24 \pm 96.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $2,756.87 \pm 100.145 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน  $2,340.37 \pm 54.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,2-ไดคลอโรอีเทน  $2,088.75 \pm 49.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-เฮปเทน  $2,070.81 \pm 93.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  2-เมทิล-1-เพนทีน  $1,859.90 \pm 73.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเตตระคลอโรเอทิลีน  $1,309.87 \pm 44.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจไม่พบทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ได้แก่ ฟริออน-12 ฟริออน-11 ไดคลอโรมีเทน ทราน-2-บิวเทน และไซโคลเพนเทน แสดงดังภาพประกอบ 23

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ณ จุดเก็บตัวอย่าง (S1) จากบริเวณด้านซ้ายพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



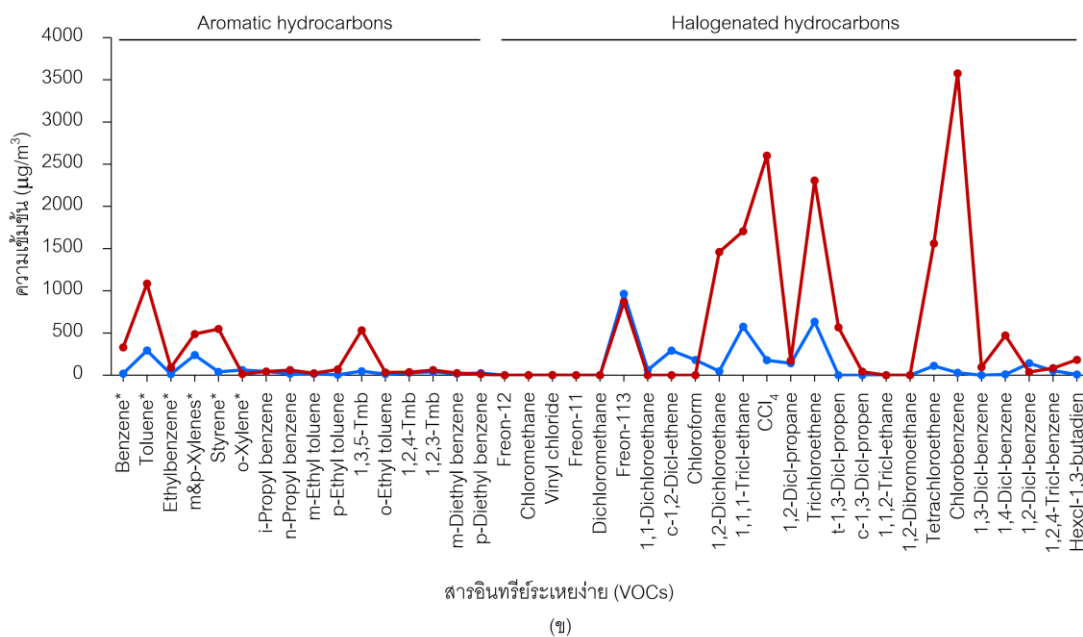
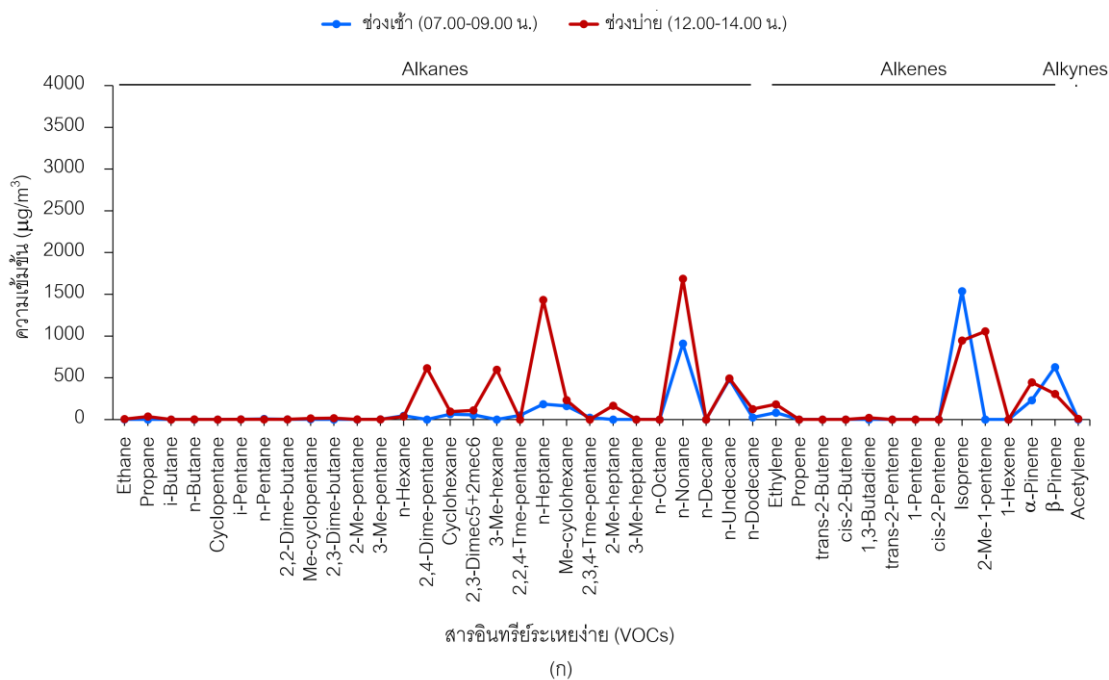
ภาพประกอบ 19 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านซ้ายพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S1) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) (ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Aromatic hydrocarbons และ Halogenated hydrocarbons

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ณ จุดเก็บตัวอย่าง (S2) จากบริเวณด้านขวาพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



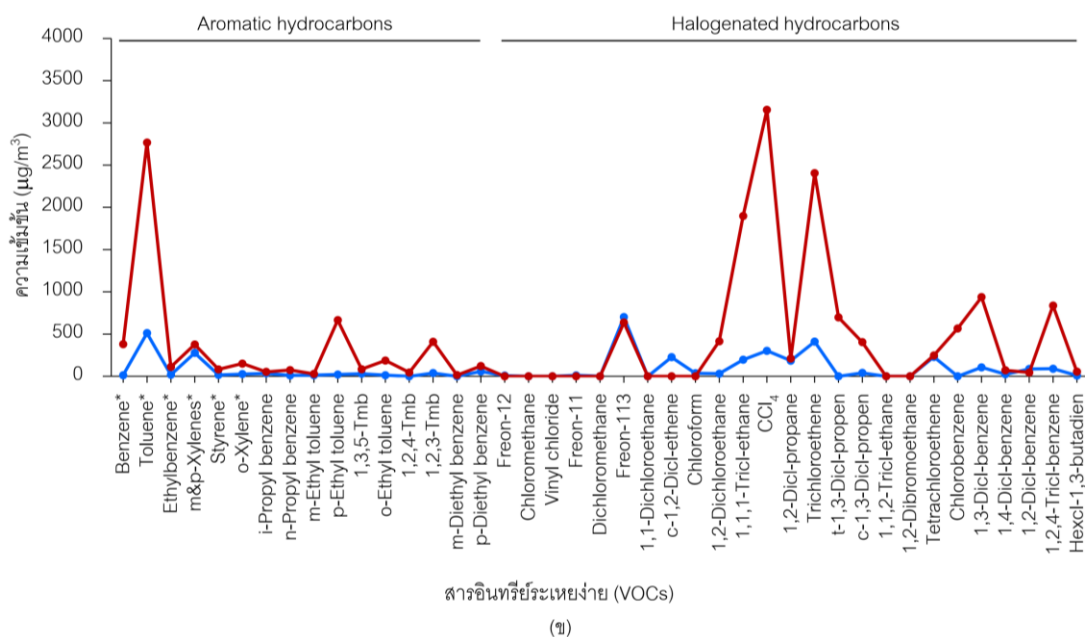
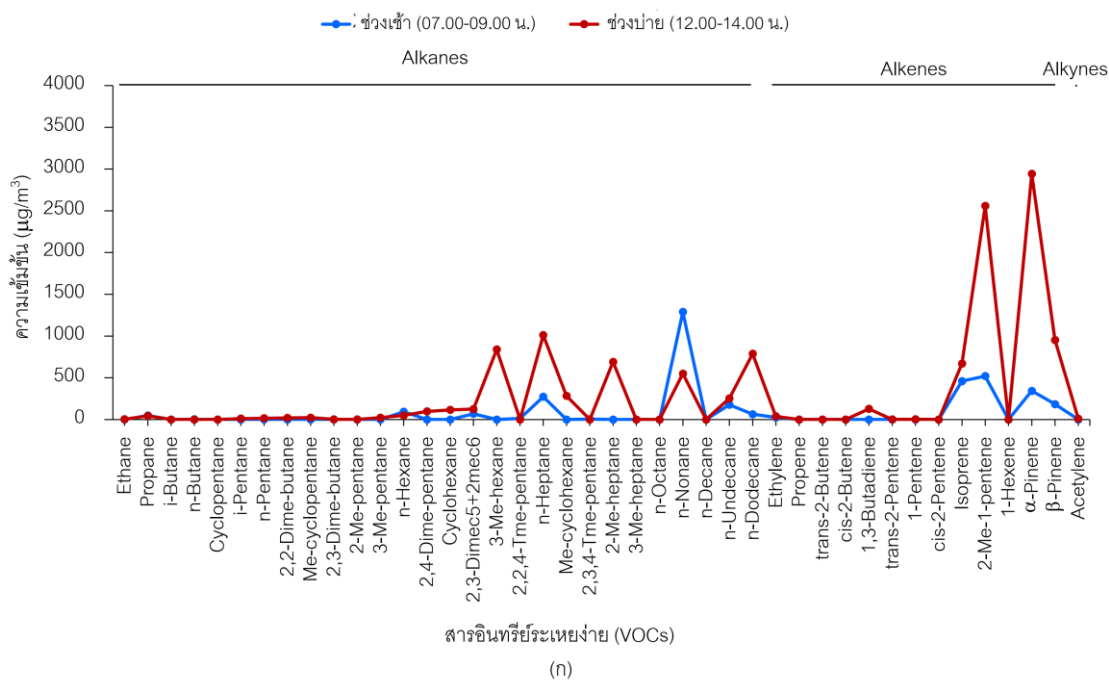
ภาพประกอบ 20 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านขวาพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S2) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) (ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Aromatic hydrocarbons และ Halogenated hydrocarbons

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ณ จุดเก็บตัวอย่าง (S3) จากบริเวณกึ่งกลางพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



ภาพประกอบ 21 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณกึ่งกลางพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S3) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) (ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Aromatic hydrocarbons และ Halogenated hydrocarbons

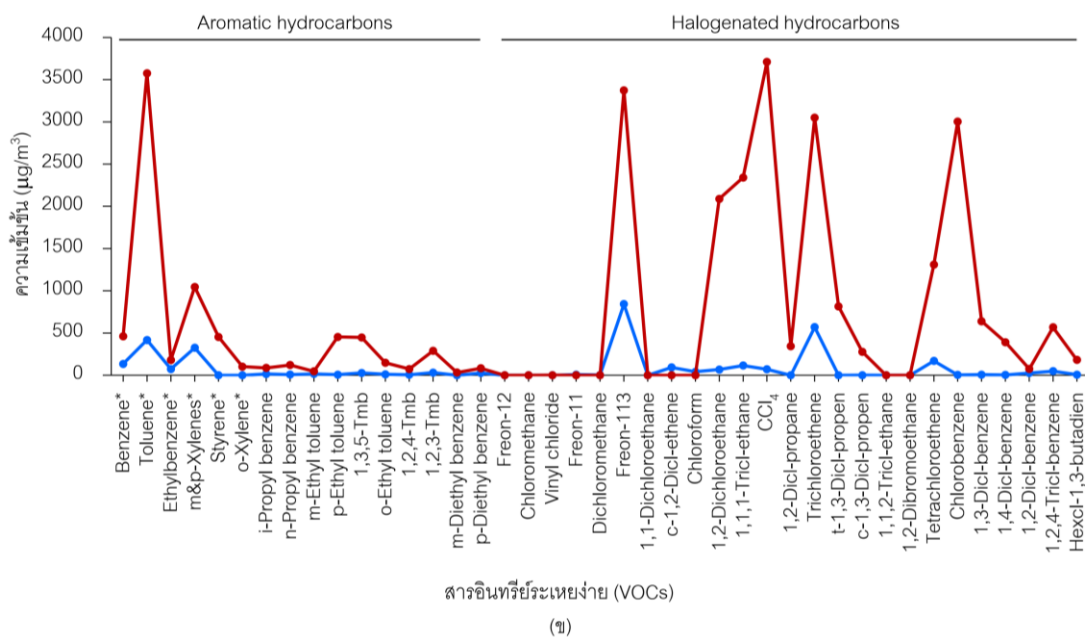
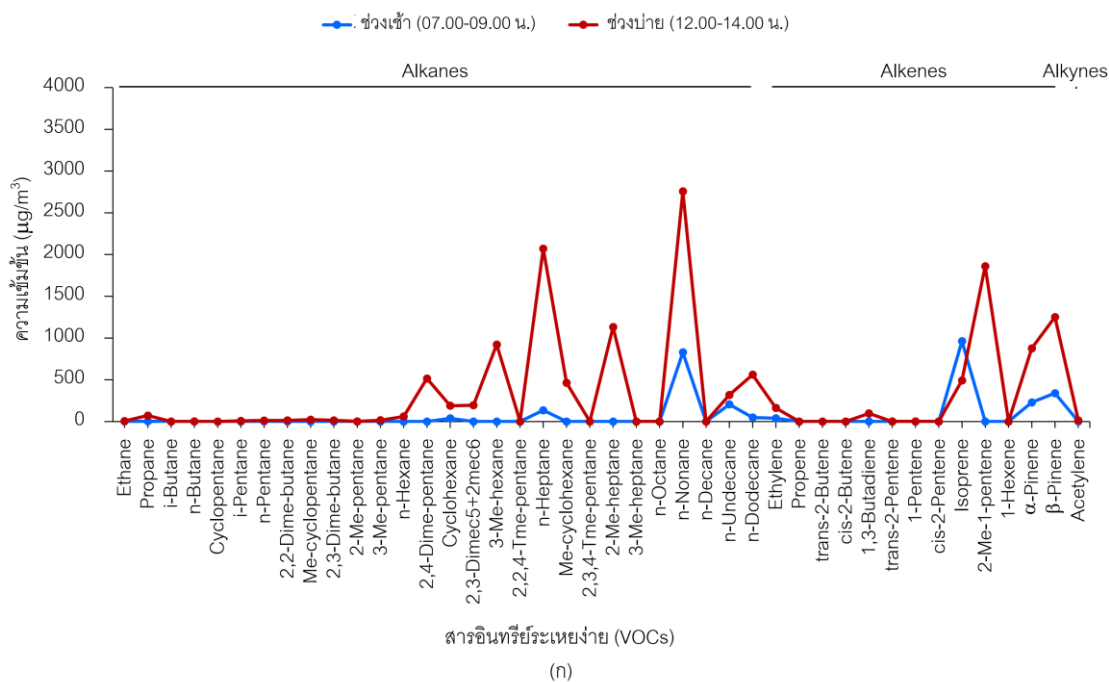
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ณ จุดเก็บตัวอย่าง (S4) จากบริเวณด้านหน้าพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



ภาพประกอบ 22 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านหน้าพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S4) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) (ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Aromatic hydrocarbons และ Halogenated hydrocarbons



ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด ณ จุดเก็บตัวอย่าง (S5) จากบริเวณด้านหลังพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



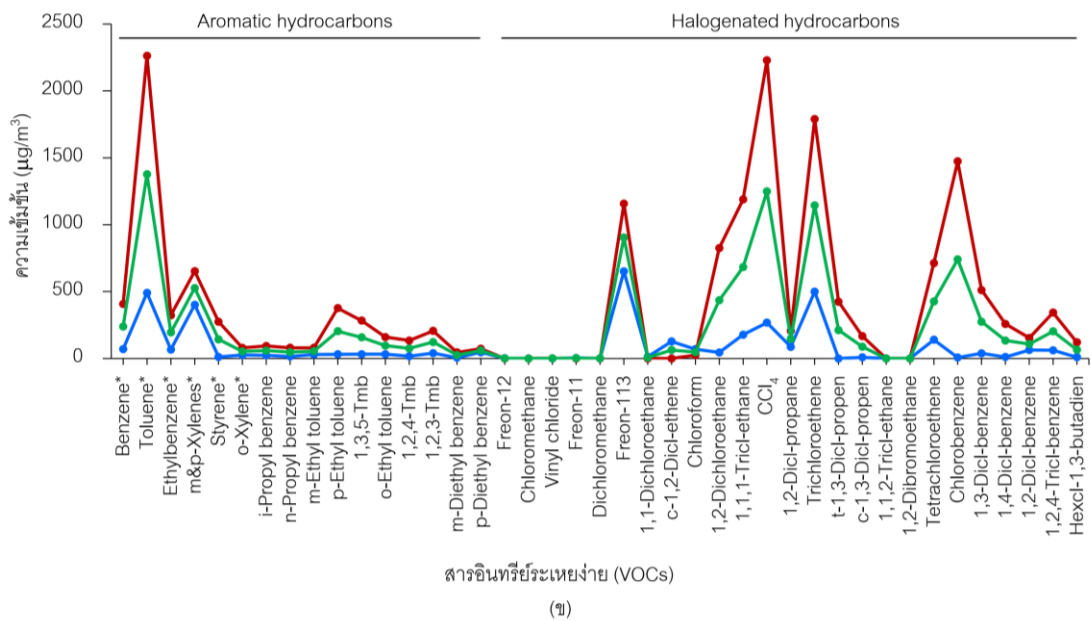
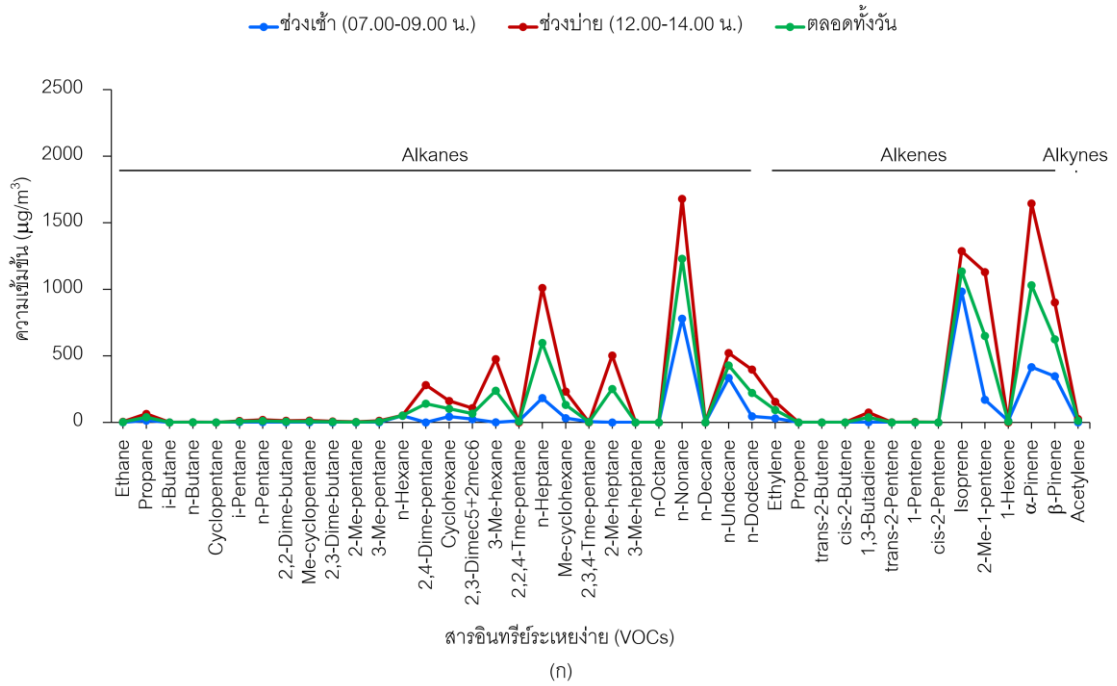
ภาพประกอบ 23 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด บริเวณด้านหลังพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี (S5) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) (ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Aromatic hydrocarbons และ Halogenated hydrocarbons

เมื่อพิจารณาบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งโดยรวม พบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงเช้า บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้ง 5 จุด (S1-S5) มีความเข้มข้นเฉลี่ยรวมมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ ไอโซพรีน  $983.29 \pm 396.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $779.81 \pm 92.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟรีออน-113  $651.70 \pm 549.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $499.31 \pm 77.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โทลูอีน  $490.69 \pm 29.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $415.41 \pm 55.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $400.90 \pm 6.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบตา-ไพเนน  $346.98 \pm 85.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-อันเดเคน  $334.24 \pm 306.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และคาร์บอนเตตระคลอไรด์  $267.32 \pm 59.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศช่วงบ่าย บริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้ง 5 จุด (S1-S5) เมื่อเฉลี่ยรวมกัน พบความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ โทลูอีน  $2,261.77 \pm 318.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $2,229.49 \pm 40.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $1,789.95 \pm 1059.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $1,679.63 \pm 114.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  แอลฟา-ไพเนน  $1,645.75 \pm 77.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คลอโรเบนซีน  $1,473.25 \pm 3.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไอโซพรีน  $1,287.15 \pm 331.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน  $1,188.76 \pm 174.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฟรีออน-113  $1,156.86 \pm 108.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ 2-เมทิล-เพนทีน  $1,130.22 \pm 123.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  นอกจากนี้ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตลอดทั้งวัน เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ โทลูอีน  $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $1,248.40 \pm 825.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน  $1,229.72 \pm 424.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน  $1,144.63 \pm 913.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และไอโซพรีน  $1,135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 24

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง กับค่ามาตรฐานจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่องกำหนดค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี และประกาศจากกรมควบคุมมลพิษ เรื่องกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเวลา 1 ปี และในเวลา 24 ชั่วโมง ยกเว้นเบนซีน 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรเอทิลีน เตตระคลอโรเอทิลีน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน และ 1,3-บิวทาไดอีน ที่เกินค่ามาตรฐานกำหนด จึงจำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมและป้องกันการเกิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง เพื่อไม่ให้สารมลพิษข้างต้นสะสมในบรรยากาศจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพ แสดงดังตาราง 22

ความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิด เฉลี่ยรวมทุกบริเวณเก็บตัวอย่างทั้ง 5 จุด จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง (S1-S5)



ภาพประกอบ 24 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด ทุกจุดเก็บตัวอย่าง (S1-S5) ในพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย (ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ย

ของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม

Aromatic hydrocarbons และ Halogenated hydrocarbons

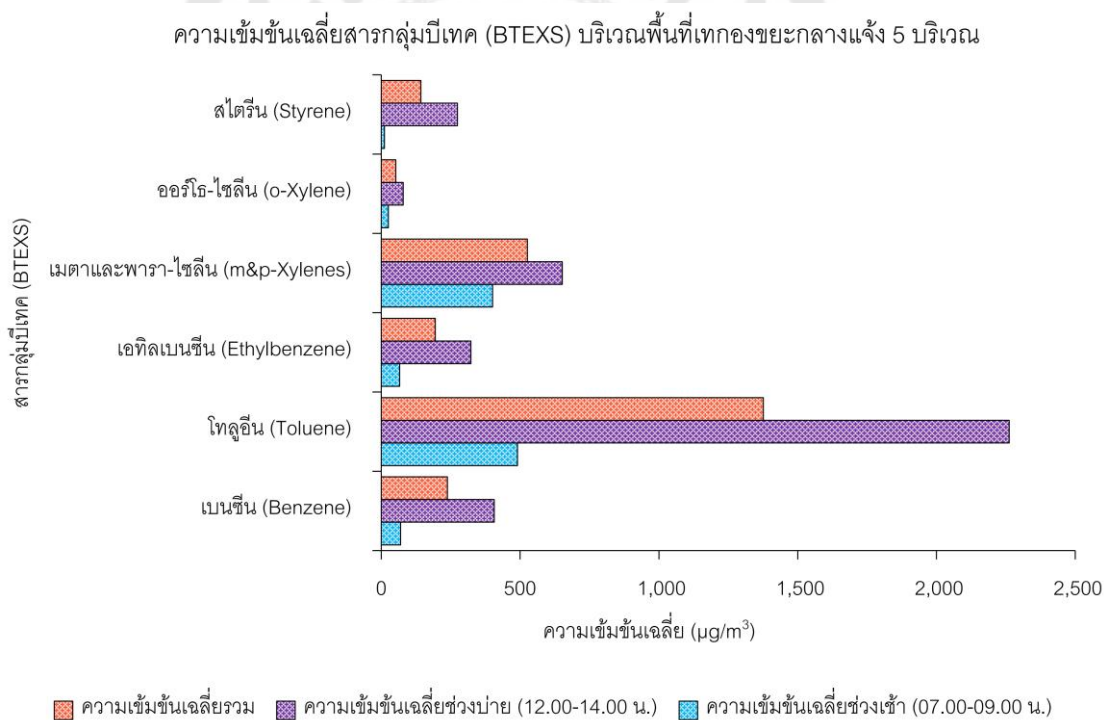
ตาราง 22 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

ลำดับ	ชนิดของสาร	ค่ามาตรฐานของ VOCs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		ค่าเฉลี่ยที่ตรวจพบ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	แปลผล
		ในเวลา 1 ปี <sup>(1)</sup>	ในเวลา 24 ชั่วโมง <sup>(2)</sup>		
1	เบนซีน (Benzene)	ไม่เกิน 1.7	ไม่เกิน 7.6	238.253	เกินค่ามาตรฐาน
2	ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl chloride)	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 20	0.65	ไม่เกินค่ามาตรฐาน
3	1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	ไม่เกิน 0.4	ไม่เกิน 48	434.997	เกินค่ามาตรฐาน
4	ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	ไม่เกิน 23	ไม่เกิน 130	1144.626	เกินค่ามาตรฐาน
5	ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	ไม่เกิน 22	ไม่เกิน 210	0.432	ไม่เกินค่ามาตรฐาน
6	1,2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane)	ไม่เกิน 4	ไม่เกิน 82	146.865	เกินค่ามาตรฐาน
7	เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	426.518	เกินค่ามาตรฐาน
8	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	ไม่เกิน 0.43	ไม่เกิน 57	47.322	ไม่เกินค่ามาตรฐาน
9	1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene)	ไม่เกิน 0.33	ไม่เกิน 5.7	38.361	เกินค่ามาตรฐาน

ที่มา: <sup>(1)</sup> กรมควบคุมมลพิษ (2547); <sup>(2)</sup> กรมควบคุมมลพิษ (2552)

#### ส่วนที่ 4 ผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทค (BTEXS) ผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ

ความเข้มข้นของสารประกอบกลุ่มบีเทค ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เมตาและพารา-ไซลีน ออร์โธ-ไซลีน และสไตรีน ตรวจวัดเชิงปริมาณจากแหล่งกำเนิดบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง โดยนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพการรับสัมผัสผ่านการหายใจของสารชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ โทลูอีน  $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $526.51 \pm 98.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบนซีน  $238.25 \pm 175.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอทิลเบนซีน  $194.69 \pm 189.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  สไตรีน  $142.87 \pm 131.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ออร์โธ-ไซลีน  $52.09 \pm 2.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่มบีเทค ที่ตรวจพบบริเวณพื้นที่เทกองขยะแสดงดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่มบีเทคที่ตรวจพบในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

การประเมินความเสี่ยง (Health risk assessment) ผู้วิจัยทำการรวบรวมค่ามาตรฐาน และเกณฑ์ระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศแต่ละชนิด โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี และในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งกำหนดภายใต้เงื่อนไข Unit risk ที่  $10^{-6}$  หรือ  $10^{-5}$  เป็นค่า Factor สำหรับการกำหนดค่ามาตรฐาน สำหรับการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจพบกับค่ามาตรฐานกำหนด แสดงดังตาราง 23

ตาราง 23 ปริมาณการได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายและความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและไม่ก่อมะเร็ง

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	ปริมาณที่ได้รับ (mg/kg·day <sup>-1</sup> ) (CDI)		ความเสี่ยงทางสุขภาพ		แปลผลความเสี่ยงทางสุขภาพโดยรวม
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง	
<b>ความเสี่ยงสารก่อมะเร็ง (Cancer Risk)</b>					
· Benzene	$1.37 \times 10^{-4}$	$1.66 \times 10^{-4}$	$3.74 \times 10^{-5}$	$4.53 \times 10^{-5}$	อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
<b>ความเสี่ยงสารไม่ก่อมะเร็ง (Non-cancer risk)</b>					
· Benzene	$6.88 \times 10^{-3}$	$8.25 \times 10^{-3}$	1.72	2.06	มีอันตรายระดับปานกลาง
· Toluene	$5.0 \times 10^{-2}$	$6.02 \times 10^{-2}$	0.62	0.75	มีอันตรายระดับต่ำ
· Ethylbenzene	$5.60 \times 10^{-3}$	$2.75 \times 10^{-3}$	0.05	0.27	มีอันตรายระดับต่ำ
· m&p-Xylenes	$1.52 \times 10^{-2}$	$6.73 \times 10^{-2}$	0.07	0.33	มีอันตรายระดับต่ำ
· o-Xylene	$1.50 \times 10^{-3}$	$1.80 \times 10^{-3}$	0.00	0.00	ไม่มีอันตราย
· Styrene	$4.10 \times 10^{-3}$	$4.92 \times 10^{-3}$	0.00	0.00	ไม่มีอันตราย
HI	-	-	2.46	3.41	เกินค่าที่ยอมรับได้

จากตาราง 23 แสดงค่าความเสี่ยงการได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายและความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารชนิดก่อมะเร็งและไม่ก่อมะเร็ง พบว่าสารที่ทำให้ก่อมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน และสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เมตาและพารา-ไซลีน ออร์โท-ไซลีน และสไตรีน นอกจากนี้การประเมินความเสี่ยงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทค



จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นผ่านการรับสัมผัสสารชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ทางการหายใจ ได้แก่ สารเบนซีน ปริมาณที่ได้รับสัมผัสสารข้างต้นผ่านการหายใจในเพศชายมีค่า  $1.37 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิงมีค่า  $1.66 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนงานและประชาชนที่อาศัยใกล้เคียงบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ในเพศชายมีค่า  $3.74 \times 10^{-5}$  และเพศหญิงมีค่า  $4.53 \times 10^{-5}$  ตามลำดับ เมื่อเทียบค่าจากการประเมินกับค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็งที่กำหนดโดย United states environmental protection agency (1989) ซึ่งมีค่าจากการประเมินไม่เกิน  $1 \times 10^{-6}$  -  $1 \times 10^{-4}$  ดังนั้นการประเมินค่าความเสี่ยงสุขภาพต่อการเกิดมะเร็งอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารเบนซีนที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือมีโอกาสในการรับสัมผัสสารเบนซีนที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

การประเมินความเสี่ยงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทค จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer risk) ผ่านการหายใจ ได้แก่ การประเมินการรับสัมผัสสารเบนซีนพบว่า ปริมาณที่รับสัมผัสสารในเพศชายมีค่า  $6.88 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิงมีค่า  $8.25 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่า มีค่าความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในเพศชาย 1.72 และในเพศหญิง 2.06 จากข้อมูลการประเมินความเสี่ยงพบว่า การได้รับสัมผัสสารเบนซีนชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับปานกลาง การประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอีนพบว่า ปริมาณที่รับสัมผัสสารในเพศชายมีค่า  $5.0 \times 10^{-2}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิงมีค่า  $6.02 \times 10^{-2}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่า มีค่าความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในเพศชาย 0.62 และในเพศหญิง 0.75 จากข้อมูลการประเมินความเสี่ยงพบว่า การได้รับสัมผัสสารโทลูอีนชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ การประเมินการรับสัมผัสสารเอทิลเบนซีนพบว่า ปริมาณที่รับสัมผัสสารในเพศชายมีค่า  $5.60 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิงมีค่า  $2.75 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่า ในเพศชายมีค่าความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ 0.05 และ ในเพศหญิง 0.27 จากข้อมูลการประเมินความเสี่ยงพบว่า การได้รับสัมผัสสารเอทิลเบนซีนชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ การประเมินการรับสัมผัสสารไซลีน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามชนิดของไอโซเมอร์ ได้แก่ เมตาและพารา-ไซลีน มีปริมาณที่รับสัมผัสสารในเพศชายมีค่า  $1.52 \times 10^{-2}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิงมีค่า  $6.73 \times 10^{-2}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และออร์โธ-ไซลีน ปริมาณที่รับสัมผัสสารใน

เพศชายมีค่า  $1.50 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิงมีค่า  $1.80 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่า สารเมตาและพารา-ไซลีน มีค่าความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในเพศชาย 0.07 และในเพศหญิง 0.33 และสารออร์โธ-ไซลีน มีค่าความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพทั้งเพศชายและเพศหญิง 0.00 จากข้อมูลการประเมินความเสี่ยงพบว่า การได้รับสัมผัสสารไซลีนชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง มีระดับความเสี่ยงต่ำและไม่มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ ตามลำดับ และการประเมินการรับสัมผัสสารสไตรีนพบว่า ปริมาณที่รับสัมผัสสารสไตรีนในเพศชาย  $4.10 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และในเพศหญิง  $4.92 \times 10^{-3}$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพบว่า มีค่าความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในเพศชายและเพศหญิงเท่ากับ 0.00 จากข้อมูลการประเมินความเสี่ยงพบว่า การได้รับสัมผัสสารสไตรีนชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ไม่มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ

สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทคที่ตรวจวัด มีค่าดัชนีความเสี่ยงรวม (Hazards index) ในเพศชาย 2.46 และเพศหญิง 3.41 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงของ United states environmental protection agency (1996) ซึ่งมีการกำหนดค่าแนะนำไว้เท่ากับ 1 จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายและเฝ้าระวังสารกลุ่มบีเทคเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง จากบริเวณแหล่งกำเนิด ณ สถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง และการดำเนินการป้องกันส่วนบุคคล เพื่อลดอันตรายต่อการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้

อย่างไรก็ตามค่าความเสี่ยงทางสุขภาพของงานวิจัยนี้เป็นค่าที่ได้จากสมมติฐานในการทำงานหรืออาศัยอยู่ของผู้ทำงานบริเวณสถานที่กำจัดขยะเทกองกลางแจ้ง โดยเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 30 ปี น้ำหนักตัวของผู้ทำงานเป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวคนไทย และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศได้จากการตรวจวัดเฉพาะช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลข้างต้นเป็นเพียงการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในเบื้องต้น ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวอาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสถานการณ์และปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น อายุ น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย และระยะเวลาในการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน และประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มบีเทค (BTEXS) ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน ผ่านการสัมผัสผิวกาย สามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) การสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2565 เพื่อจำแนกองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง พบความหนาแน่นปกติของขยะมูลฝอยเท่ากับ 0.129 พบขยะมูลฝอยประเภทขยะอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ ซึ่งพบปริมาณมากที่สุด 24.09 กิโลกรัม (ร้อยละ 48.18) ขยะพลาสติก พบปริมาณรองลงมา 19.33 กิโลกรัม (ร้อยละ 36.66) ยางและหนัง 1.80 กิโลกรัม (ร้อยละ 3.60) แก้ว 0.66 กิโลกรัม (ร้อยละ 1.32) โลหะ 0.45 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.90) สิ่งทอ 0.41 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.82) ซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 0.33 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.66) หิน กรวด และกระเบื้อง 0.21 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.58) กระดาษ 0.23 กิโลกรัม (ร้อยละ 0.46) และขยะมูลฝอยอื่น ๆ ที่ไม่สามารถจำแนกองค์ประกอบได้ 2.49 กิโลกรัม (ร้อยละ 4.98) ตามลำดับ

2) สภาพอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จากการเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั้ง 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) โดยตรวจวัดครอบคลุมทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 ตำแหน่ง ดังนี้ บริเวณด้านซ้ายพื้นที่เทกองขยะ (S1)

บริเวณด้านขวาพื้นที่เทกองขยะ (S2) บริเวณกึ่งกลางพื้นที่เทกองขยะ (S3) บริเวณด้านหน้าพื้นที่เทกองขยะ (S4) และบริเวณด้านหลังพื้นที่เทกองขยะ (S5) พบว่าสภาพอุณหภูมิมิถวิทยาในช่วงเช้า อุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย  $30.60 \pm 0.32$  องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์เฉลี่ย  $35.30 \pm 0.32$  องศาเซลเซียส ความเร็วลมค่อนข้างคงที่และมีลมพัดอยู่ตลอดเวลาระหว่างการเก็บตัวอย่างโดยมีความเร็วลมเฉลี่ย  $2.42 \pm 0.34$  เมตรต่อวินาที ความชื้นในบรรยากาศเฉลี่ย 73.60% และพบว่าความกดอากาศในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 ตำแหน่ง มีค่าเท่ากันคือ 1,005 เฮกโตพาสคาล และสภาพอุณหภูมิมิถวิทยาในช่วงบ่าย พบอุณหภูมิในทุกจุดของบริเวณพื้นที่ศึกษาสูงกว่าในช่วงเช้า อุณหภูมิในบรรยากาศเฉลี่ย  $41.16 \pm 1.77$  องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์เฉลี่ย  $50.90 \pm 0.49$  องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง มีความเร็วลมเฉลี่ย  $0.90 \pm 0.38$  เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นช่วงความเร็วลมต่ำ อากาศนิ่ง ความชื้นในบรรยากาศเฉลี่ย 36.80 % และความกดอากาศเฉลี่ย  $1,008.20 \pm 0.44$  เฮกโตพาสคาล

3) การวิเคราะห์ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง โดยใช้เทคนิค GC-MS และ GC-FID พบตัวอย่างของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ดังนี้ อีเทน (Ethane) เอทิลีน (Ethylene) โพรเพน (Propane) ฟรีออน-12 (Freon-12), โพรเพน (Propane) ไอ-บิวเทน (i-Butane) เอน-บิวเทน (n-Butane) อะซิทีลีน (Acetylene) ทราน-2-บิวเทน (trans-2-Butane) คลอโรมีเทน (Chloromethane) 1-บิวเทน (1-Butene) ไอ-บิวทีน (i-Butene) 2,2-ไดเมทิลบิวเทน (2,2-Dime-butane) 1,1-ไดคลอโรอีเทน (1,1-Dichloroethane) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ซี-1,2-ไดคลอโรอีเทน (c-1,2-Dicl-ethane) เบนซีน (Benzene) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Tricl-ethane) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) ไสโซไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) และ 3-เมทิลเฮกเซน (3-Me-hexane) เป็นต้น เมื่อนำสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิดมาจำแนกเป็นกลุ่มตามโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบกลุ่มแอลเคน แอลคีน แอลไคน์ อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และฮาโลเจน โดยสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารแต่ละกลุ่มที่พบในช่วงเช้า คิดเป็นร้อยละ 19, 15, 0, 23 และ 43 ตามลำดับ และสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในช่วงบ่าย คิดเป็นร้อยละ 18, 13, 0, 23 และ 47 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายตลอดทั้งวัน ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ โทลูอีน (Toluene)  $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  คาร์บอนเตตระคลอไรด์  $1,248.40 \pm 825.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอน-โนเนน (n-Nonane)  $1,229.72 \pm 424.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)  $1,144.63 \pm 913.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และไอโซพรีน (Isoprene)  $1,135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด ระหว่างช่วงเช้ากับช่วงบ่าย พบว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดเดียวกันในช่วงเช้าและช่วงบ่ายมีค่าแตกต่างกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ เทียบกับค่ามาตรฐานจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (2550) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี และในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ เบนซีน 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เตตระคลอโรเอทิลีน และ 1,3-บิวทาไดอีน

4) การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มปีเทค ผ่านการรับสัมผัสทางการหายใจ พบว่าสารที่ทำให้ก่อมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน และสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) เมตาและพารา-ไซลีน (m&p-Xylenes) ออร์โธ-ไซลีน (o-Xylene) และสไตรีน (Styrene) โดยการประเมินค่าความเสี่ยงทางสุขภาพการเกิดมะเร็งของสารเบนซีนอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารเบนซีนที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือโอกาสที่ก่อให้เกิดมะเร็ง นอกจากนี้การประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งพบว่า การได้รับสัมผัสสารเบนซีนมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับปานกลาง การได้รับสัมผัสสารโทลูอีนมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ การได้รับสัมผัสสารเอทิลเบนซีนมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ การได้รับสัมผัสสารออร์โธ-ไซลีน ไม่มีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ สารเมตาและพารา-ไซลีนซึ่งมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ และการได้รับสัมผัสสารสไตรีนมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในระดับต่ำ ทั้งนี้ค่าดัชนีความเสี่ยงรวม (Hazards index) ในเพศชายเท่ากับ 2.46 และในเพศหญิง 3.41 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงของ US EPA

## 2. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี มีประเด็นที่น่าสนใจในการอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้ 1) องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง 2) การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง และ 3) ความเสี่ยงและผลกระทบทางสุขภาพของมนุษย์จากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านการหายใจ มีรายละเอียดดังนี้



ประเด็นที่ 1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ในงานวิจัยนี้พบองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมาก ได้แก่ ขยะมูลฝอยจำพวกขยะอินทรีย์ ขยะพลาสติก ยาง และหนัง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประชาชนส่วนใหญ่ไม่มีการคัดแยกขยะมูลฝอยตั้งแต่ต้นทางและกลางทางในการนำกลับไปใช้ประโยชน์ ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยปลายทางที่เข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะมีปริมาณมาก และมีความหลากหลายด้านองค์ประกอบมาก สอดคล้องกับการศึกษาของธเนศ ศรีสถิต (2553) ที่ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยแยกตามกลุ่มของการปกครองภูมิภาคของประเทศ พบปริมาณขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหาร ผัก และผลไม้มากที่สุด รองลงมาคือ พลาสติก และกระดาษ ตามลำดับ นอกจากนี้องค์ประกอบของขยะมูลฝอยแยกตามกลุ่มของการปกครองเทศบาลและองค์การบริหารส่วนท้องถิ่น พบปริมาณขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหาร ผัก และผลไม้มากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 30-46 รองลงมาคือ พลาสติก ร้อยละ 19-28 และกระดาษ ร้อยละ 8-13 รวมทั้งยังพบขยะมูลฝอยอันตราย ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกทิ้งปะปนมากับขยะทั่วไปจนถึงสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย อีกทั้งระบุว่าแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยบริเวณพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ เกิดจากการดำเนินชีวิตประจำวันของประชาชน โดยมาจากแหล่งกำเนิดประเภทครัวเรือน อาคารสำนักงาน สถานศึกษา ตลอดจนสถานที่สาธารณะทั่วไป ร้านค้าและตลาดสด ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาได้รองรับขยะมูลฝอยจากตลาดไทเป็นตลาดศูนย์กลางกระจายสินค้าการเกษตรครบวงจรใหญ่ที่สุดในภูมิภาคอาเซียน โดยเฉพาะเนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ ถูกนำมาคัดเลือกและคัดแยกสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐาน เกิดการเน่าเสียและมีตำหนิออก ทำให้ตลาดไทมีขยะที่เป็นเศษผักและผลไม้กลายเป็นขยะมูลฝอยเหลือทิ้ง เพื่อรอการเก็บขนและนำไปสู่การกำจัดประมาณ 120 ตันต่อวัน จากลักษณะของขยะมูลฝอยข้างต้นล้วนเกิดจากพฤติกรรมการทิ้งขยะจนเกิดเป็นความเคยชินส่วนบุคคล ที่ยังคงทิ้งขยะมูลฝอยรวมกันทุกประเภทในถุงขยะ หรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นยังคงเก็บขนขยะมูลฝอยแบบรวมทุกอย่างใส่รถเก็บขนขยะมูลฝอย สะท้อนให้เห็นถึงการไม่ให้ความสำคัญกับกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ต้นจากครัวเรือนของประชาชน ทำให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่ไม่มีการวางระบบคัดแยกและเก็บขนขยะมูลฝอยแบบแยกประเภท จึงมีขยะมูลฝอยถูกทิ้งปะปนกันจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบคัดแยกและนำกลับไปใช้ประโยชน์ในภายหลัง นอกจากนี้ขยะมูลฝอยจากแต่ละพื้นที่มีลักษณะและองค์ประกอบแตกต่างกันตามบริบท เช่น วิถีชีวิตความเป็นอยู่และสภาพแวดล้อมรายได้เศรษฐกิจ วัฒนธรรม ศาสนา ทักษะคิดคำนวณ



ขยะมูลฝอยจากแต่ละพื้นที่มีลักษณะและองค์ประกอบไม่เหมือนกัน ซึ่งขยะเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของคนในพื้นที่ โดยกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยและการจัดการขยะมูลฝอยที่ถูกต้อง สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะนำไปกำจัดในขั้นสุดท้าย โดยขยะมูลฝอยที่ถูกคัดแยกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (Recycle) หรือการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการเพิ่มมูลค่าขยะโดยนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์อย่างสร้างสรรค์ ดังนั้นการส่งเสริมให้มีการนำขยะมูลฝอยมาแปรรูปหรือนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ ผ่านกระบวนการแปรรูป เป็นการลดขยะมูลฝอยที่เข้าสู่กระบวนการกำจัด ซึ่งเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัดขยะ เนื่องจากเป็นการลดปริมาณขยะที่นำไปกำจัด และสามารถนำขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการคัดแยกนำไปทำแก๊สชีวภาพหรือไบโอแก๊สสำหรับกระบวนการกำจัดขยะพลาสติก กระดาษ อาจนำไปใช้ในแปรรูปใหม่ หรืออาจกำจัดโดยการเผาเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย (Refuse derived fuel: RDF) จึงเป็นกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืน (กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2566)

อย่างไรก็ตามสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง มีลักษณะการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเปิด โดยกองขยะจะมีขยะมูลฝอยที่มีอายุแตกต่างกัน อยู่ในช่วง 1-20 ปี ประกอบด้วยเศษอาหารและพลาสติก เป็นองค์ประกอบหลักที่พบในกองขยะมูลฝอย พบร้อยละ 48 และ 38 ตามลำดับ ซึ่งขยะที่มีอายุมากจะถูกสะสมเป็นฐานของกองขยะและถูกทับถมด้วยขยะมูลฝอยใหม่ที่มีอายุน้อยกว่า จากการศึกษาพบว่าบริเวณฐานของสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองมีพลาสติกเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดกระบวนการย่อยสลายของขยะมูลฝอยประเภทอื่น ๆ ทำให้เหลือเพียงขยะประเภทพลาสติกที่ย่อยสลายยากและต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย จึงอยู่บริเวณด้านล่างของกองขยะ ซึ่งบริเวณฐานของกองขยะมูลฝอยมีความชื้นสูงเนื่องจากอิทธิพลของน้ำฝนไหลลงสู่กองขยะ ทำให้เกิดการขังของน้ำชะขยะ ในขณะที่ขยะมูลฝอยส่วนบนจะเกิดการแห้งกรอบ ฉีกขาด หรือแตกหักจากการสัมผัสกับความร้อนจากแสงแดดในช่วงเวลากลางวัน นอกจากนี้การย่อยสลายแบบใช้อากาศจะลดลงตามความลึกที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงสภาพที่ไร้อากาศหรือออกซิเจน ซึ่งขยะประเภทอื่น ๆ เช่น เศษอาหาร พลาสติก กระดาษ โฟม ซากพืชและสัตว์ สารเคมีและสารอันตรายที่ยังมีการสะสมอยู่ สามารถเกิดการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic condition) ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศขึ้น (Pierucci et al., 2005)

ประเด็นที่ 2 การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั้งสิ้น 83 ชนิด ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มเป้าหมายของ US EPA เพียงส่วนหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันและเป็นวัตถุอันตรายในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธีตรวจวัดเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณตามวิธีมาตรฐานที่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย ไม่พบสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ ทรานส์-2-บิวทีน (trans-2-Butene), 3-เมทิล-เฮปเทน (3-Me-heptane), 1,2-ไดโบรโมมีเทน (1,2-Dibromoethane), เฮกซะน (n-Octane) และเดคเคน (n-Decane) เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิด ถูกใช้เป็นส่วนประกอบเนฟทา (Naphtha) ของน้ำมันดีเซล เชื้อเพลิง และน้ำมันดีเซลสำหรับการคมนาคมทางอากาศและอุตสาหกรรมหนัก จึงทำให้ไม่พบสารกลุ่มนี้ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกอง

นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายส่วนใหญ่มากกว่าการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งสู่ชั้นบรรยากาศได้มากยิ่งขึ้น ได้แก่ โทลูอีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เฮกซะน ไตรคลอโรเอทิลีน เมตาและพารา-ไซลีน และเบนซีน เป็นต้น ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้มีความเข้มข้นเฉลี่ยรวมทุกจุดที่เก็บตัวอย่างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) สอดคล้องกับการศึกษาของมณีรัตน์ บุษบา (2549) ระบุว่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ โทลูอีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เฮกซะน ไตรคลอโรเอทิลีน เมตาและพารา-ไซลีน และเบนซีน จะมีการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่เป็นขยะเพิ่มมากขึ้น เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้อาจถูกปลดปล่อยจากสารเคมีที่ใช้ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กในละแวกชุมชน ได้แก่ สารเคมีประเภทน้ำยาซักล้าง น้ำยาซักแห้ง น้ำยาละลายคราบไขมันและน้ำมัน สบู่ สารซักฟอก สารกำจัดกลิ่น เครื่องสำอาง สเปรย์ และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน ที่เกิดการปนเปื้อนมากับเศษอาหารหรือขยะที่สามารถย่อยได้ง่าย เนื่องจากกระบวนการคัดแยกขยะไม่ดีเท่าที่ควร ขาดการระมัดระวัง ทำให้เกิดการปนเปื้อนในภาชนะหรือถุงขยะ รวมถึงตัวทำละลายประเภทเรซินและสารเคลือบผิวต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่ล้วนมีองค์ประกอบของไตรคลอโรเอทิลีน ไซลีน โทลูอีน และเบนซีน เป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดไตรคลอโรเอทิลีน ที่พบอาจมาจากเศษอาหารที่มีการปนเปื้อนของตัวทำละลายขจัดคราบและไขมันในครัวเรือน ทำให้ไตรคลอโรเอทิลีน เกิดการละลายในไขมันและปลดปล่อยได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับข้อมูลจากนิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ (2552) ระบุว่าไตรคลอโรเอทิลีน มักตรวจพบและมีการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเสมอ รวมถึงเบนซีน เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งเบนซินและดีเซล ซึ่งได้นำมาใช้ในกระบวนการ

เผาไหม้ของเครื่องยนต์ อาทิ รถยนต์ รถบรรทุก รถบดอัดขยะ และเครื่องจักรกลในกระบวนการกำจัดและแปรรูปขยะมูลฝอย นอกจากนี้สารเบนซีนยังเป็นองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่น ยาฆ่าแมลง และสารซักฟอก ทำให้ตรวจพบเบนซีนในปริมาณที่มากและพบเป็นชนิดหลักในทุกพื้นที่ศึกษา (สาวิตรี พูลมา และ ทรรศนีย์ พฤกษาสัทธี, 2548) อีกทั้งการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากการย่อยสลายเศษอาหาร เศษผักและผลไม้ พบสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ โทลูอีน ไโซลีน และเบนซีน นอกจากนี้พืชที่อยู่ในตระกูลหลิว (*Salix*) หญ้า (*Secale*) มะเขือเทศ (*Lycopersicon*) ส้ม (*Citrus*) และกะหล่ำ (*Brassicae*) ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาว ผักกาดหัว รวมถึงต้นไม้และพืชชนิดอื่น ๆ สามารถเป็นแหล่งปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมากจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้เกิดสารไอโซพรีน แอลฟา-ไพเนน และเบตา-ไพเนน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายของพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและแสง เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้พืชปลดปล่อยไอโซพรีนสูง โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 3 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้การปลดปล่อยไอโซพรีนมีอัตราการปลดปล่อยเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 50 (Davison et al., 2009; Grote & Niinemets, 2007) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากธรรมชาติ (Biological volatile organic compound: BVOCs) ของสารในกลุ่มเทอร์พีน (Terpenes) โดยอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส จึงทำให้พบความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มเทอร์พีน ได้แก่ ไอโซพรีน แอลฟา-ไพเนน และเบตา-ไพเนน ได้มากตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น โดยการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกจากบริเวณเทกองขยะกลางแจ้ง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระยะเวลาการดำเนินการกำจัดขยะ อายุเฉลี่ยของขยะ ปริมาณ องค์ประกอบของขยะ ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้กลไกทางด้านธรรมชาติที่ซับซ้อน มีบทบาทสำคัญในการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ทิศทางลมและความเร็วลม แม้ว่าสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาจะไม่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชั้นบรรยากาศ แต่สามารถมีอิทธิพลทางอ้อมต่อการแพร่กระจายและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ ปัจจัยอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยและการแพร่กระจาย ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีในชั้นบรรยากาศเกิดความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยทั่วไปจะมีจุดเดือดต่ำ ดังนั้นอุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถเพิ่มการระเหยและปล่อยสู่อากาศได้ สภาพอากาศที่ร้อนขึ้นอาจนำไปสู่การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้น จากบริเวณพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง เกิดการแพร่กระจาย

อย่างรวดเร็วในบรรยากาศ และอาจแพร่กระจายเป็นวงกว้างมากยิ่งขึ้น แสงแดดสามารถทำให้เกิดละอองอินทรีย์ทุติยภูมิ ผ่านปฏิกิริยาโฟโตเคมีที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายและสารมลพิษอื่น ๆ ปฏิกิริยาเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีแสงแดด และอาจส่งผลให้เกิดหมอกควันละอองอินทรีย์ทุติยภูมิ และมลพิษในชั้นบรรยากาศอื่น ๆ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของมวลอากาศในสภาพบรรยากาศที่คงที่ เช่น ในระหว่างการผกผันของอุณหภูมิ สามารถดักจับสารมลพิษใกล้พื้นผิว รวมถึงสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของหมอกควันและคุณภาพอากาศที่ไม่ดีซึ่งในทางกลับกัน สภาพบรรยากาศที่ไม่คงที่ เช่น ระหว่างกิจกรรมการพาความร้อนหรือการผสมในแนวตั้งที่รุนแรง สามารถกระจายสารมลพิษและปรับปรุงคุณภาพอากาศได้

นอกจากนี้ความเร็วลมและทิศทางลม มีบทบาทสำคัญในการแพร่กระจายสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชั้นบรรยากาศ โดยความเร็วลมที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถช่วยในการเจือจางมลสารหรือลดความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่าย อย่างไรก็ตาม ทิศทางลมยังส่งผลต่อการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งนำไปสู่ความเข้มข้นที่สูงขึ้นในพื้นที่ท้ายลม และความเข้มข้นต่ำในบริเวณพื้นที่เหนือลม ความเร็วลมจึงเป็นตัวกำหนดทิศทางและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ มีบทบาทสำคัญในรูปแบบสภาพอากาศและอาจมีผลกระทบอย่างมากต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งความเร็วลมได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การไล่ระดับความกดอากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิ และภูมิประเทศของพื้นที่โดยรอบ ซึ่งล้วนส่งผลต่อการกระจายตัวของสารมลพิษในบรรยากาศ การก่อตัวของกลุ่มเมฆ การถ่ายโอนความร้อนและความชื้นจากบริเวณพื้นผิวสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ความเร็วลมสูง ทำให้เกิดความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างและเพิ่มอัตราการระเหย แม้ว่าความเร็วลมจะไม่ส่งผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ แต่สามารถส่งผลต่อการกระจายตัวและการเจือจางได้ การกลายเป็นไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทวีความรุนแรงมากขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศและความเร็วลมที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อตรวจวัดสารมลพิษในบรรยากาศ ระบุว่าความเร็วลมที่สูงขึ้นจะช่วยให้เกิดการฟุ้งกระจายสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากบริเวณแหล่งกำเนิด ทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่โดยรอบลดลง ในทางกลับกัน ความเร็วลมที่ต่ำอาจส่งผลให้อากาศนิ่ง ซึ่งนำไปสู่การสะสมของสารมลพิษ การแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศโดยรอบเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมต่ำลงมากกว่า 2.0 เมตรต่อวินาที และการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มมากขึ้น หากความเร็วลมลดลง สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีมวลหนักกว่าอากาศโดยรอบ จะไม่ถูกพัดพาไปในระยะทางที่ไกลขึ้นจากแหล่งกำเนิด ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับความดันบรรยากาศ

และค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยอิทธิพลความเร็วลมที่แตกต่างกันที่บริเวณจุดตรวจสอบเดียวกัน เมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในระยะเริ่มต้นและระยะสิ้นสุดจะพบความเข้มข้นต่ำลง และเมื่อความเร็วลมลดลงระยะเวลาการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายก็ยิ่งนานขึ้น จึงสรุปได้ว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่ออัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้มากขึ้น แต่พบปริมาณหรือความเข้มข้นสารได้ในปริมาณที่ต่ำลง เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย จะเกิดการเจือจางของความเร็วลมที่เพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่ายิ่งความเร็วลมน้อยลง ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายก็จะพบได้ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ และสามารถคงตัวในบรรยากาศได้อย่างยาวนาน และภายใต้สภาวะที่มีความเร็วลมสูง การแพร่กระจายจะรวดเร็ว แต่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบมีความเข้มข้นต่ำ จากอิทธิพลการแพร่กระจายของความเร็วลม ดังนั้นในกรณีที่พบความเร็วลมเพียงเล็กน้อย บรรยากาศหนึ่ง ผลที่ตามมาจะพบความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายมาก โดยความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น (Paulauskiene, Zabukas, Vaitiekunas, Zukauskaitė, & Kvedaras, 2011; Wu, Zhu, Zhen, Zhang, & Lu, 2018)

อีกทั้งในการศึกษาของ Pan et al. (2023) ระบุว่า การกระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถแพร่และเคลื่อนตัวไปยังบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ ตามความเร็วลมและทิศทางลม โดยระยะการแพร่กระจายสามารถแพร่กระจายได้ตั้งแต่ 400-1,000 เมตร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในบริเวณพื้นที่เทกองขยะ มีพื้นที่แนวกันชน (Buffer zone) หรือแนวป้องกัน (Protection strip) ระหว่างบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย กับเขตชุมชนหรือพื้นที่อยู่อาศัย โดยการปลูกพืชที่มีระดับความสูงตลอดแนวพื้นที่โดยรอบแหล่งกำเนิดในระยะ 500-1,500 เมตร เพื่อลดความเสี่ยงการรับสัมผัสสารมลพิษอากาศ และปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้สารกลุ่มบีเทคสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลหรือไนตรัสออกไซด์ เพื่อผลิตละอองอินทรีย์ทุติยภูมิ ไอโซน และออกไซด์อื่น ๆ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของรังสีจากดวงอาทิตย์ ความเข้มข้นของสารประกอบอะโรมาติก และสภาวะทางอุณหภูมิตามของบรรยากาศมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการกระจายสารมลพิษ

อีกหนึ่งกระบวนการที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายและมีบทบาทต่อกระบวนการทางเคมีในบรรยากาศ (Atmospheric chemistry) คือ ปฏิกิริยาโฟโตเคมี (Photochemical reaction) โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปลดปล่อยจากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งนั้น เกิดการแขวนลอยในชั้นบรรยากาศ ถือเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา



ออกซิเดชัน (Oxidation) กับสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลทำให้เกิดการรวมตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งจะถูกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์เกิดเป็นสารออกซิแดนส์ได้ เช่น แอลดีไฮด์, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, เปอร์ออกซิล อะซิทิล ไนเตรต (Peroxy acetyl nitrate: PAN) กรดอินทรีย์และอนินทรีย์ และการเกิดโอโซนระดับพื้นผิว (Ground level ozone) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศทุติยภูมิที่มีการเกิดเป็นละอองลอยอินทรีย์ทุติยภูมิ (Secondary organic aerosol: SOA) ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ล้วนเป็นตัวพาสารมลพิษเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดอันตรายจากการสัมผัสและส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ตามมา (Laothawornkitkul, Taylor, Paul, & Hewitt, 2009)

การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แม้จะพบในปริมาณน้อยแต่ควรนำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นสารประกอบที่แพร่กระจาย มักมีการสะสมในสิ่งแวดล้อม และสารบางชนิดตกค้างยาวนานและสลายตัวได้ยากในสภาวะปกติ รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นพิษ โดยไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่อแขวนลอยหรือสะสมในบรรยากาศในระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผลให้เกิดมลพิษทางด้านอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน หากไม่มีกระบวนการจัดการที่ถูกต้อง

ประเด็นที่ 3 ความเสี่ยงและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายผ่านการหายใจ พบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกปลดปล่อยจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งนั้น หากมนุษย์ได้รับสัมผัสจะเกิดความเสี่ยงและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อได้รับสัมผัสในปริมาณมากและสัมผัสเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน อาจทำให้สารพิษเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกายแล้วเกิดความเป็นพิษ (Toxicity) ต่ออวัยวะเป้าหมายได้ ซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ค่าครึ่งชีวิต (Lifetime value) ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดการสะสมอยู่ในร่างกาย ความสมบูรณ์แข็งแรง กระบวนการเมแทบอลิซึมและระบบการขับถ่ายของเสียของร่างกาย อีกทั้งเพศ อายุ น้ำหนัก ปริมาณและระยะเวลาสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย นอกจากนี้ความเป็นพิษแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน หมายถึงอาการตอบสนองของสารพิษที่เกิดขึ้นทันทีหรือภายในระยะเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย อาการที่เกิดขึ้น ได้แก่ ระคายเคืองตาและเยื่อบุทางเดินหายใจ หายใจติดขัด อ่อนเพลีย คลื่นไส้ กระสับกระส่าย ง่วงซึม วิงเวียนศีรษะ เกิดผื่นแดงบริเวณผิวหนัง เกิดความผิดปกติของระบบต่าง ๆ โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจ ระบบย่อยอาหาร ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ และระบบหมุนเวียนโลหิต กรณีได้รับสารพิษในปริมาณมากทำให้ตัวอ่อนในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (Teratogenicity) เป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกาย (Cytotoxicity) และอาจทำให้เกิดภาวะช็อก หมดสติ



สมองบวมและอาจเสียชีวิตได้ และ 2) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง หมายถึง การได้รับสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายในปริมาณน้อยเป็นเวลานานเกิน 3 เดือนขึ้นไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อมีดังนี้ เกิดความผิดปกติของตับ ไต และปอด โดยผู้รับสัมผัสบางรายอาจเกิดความผิดปกติของสารพันธุกรรมภายในเซลล์สืบพันธุ์ ส่งผลให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) หรืออาจเป็นสิ่งที่กระตุ้นในการก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) ที่บริเวณอวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ไต ไชกระดูก และระบบทางเดินหายใจ (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และ คณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552; สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555)

จากผลการวิจัยพบสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทค พบความเข้มข้นเฉลี่ยทั้ง 5 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างเฉลี่ยรวมตลอดทั้งวัน เรียงลำดับความเข้มข้นเฉลี่ยจากมากไปน้อยได้ดังนี้ โทลูอีน  $1,376.23 \pm 319.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เมตาและพารา-ไซลีน  $526.51 \pm 98.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เบนซีน  $238.25 \pm 175.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เอทิลเบนซีน  $194.69 \pm 189.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  สไตรีน  $142.87 \pm 131.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ออร์โท-ไซลีน  $52.09 \pm 2.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Durmusoglu, Taspinar, and Karademir (2010); Khademi et al. (2022); Tamrakar et al. (2022) ที่ตรวจพบปริมาณสารโพลีไซคลีน เบนซีน และเอทิลเบนซีน ถูกปลดปล่อยจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองเช่นเดียวกัน อีกทั้งสารเหล่านี้เป็นสารมลพิษในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนมาอย่างยาวนาน

นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทคที่ถูกปลดปล่อยออกมา ยังเป็นดัชนีชี้วัดในการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สำคัญและจำเป็นต่อการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ถ้าร่างกายได้รับสารกลุ่มนี้ในปริมาณมากในระยะเวลาอันติดต่อกัน อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ทั้งความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง เช่น การเพิ่มอัตราความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) และมะเร็งเม็ดเลือด (Hematopoietic cancers) สอดคล้องกับการศึกษาของ (Rogula-Koztowska, Bralewska, & Jureczko, 2020; นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และ คณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552; สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555) ซึ่งผลกระทบของสารกลุ่มบีเทคถูกอภิปรายจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ (Durmusoglu et al., 2010; Heibati et al., 2017; Masekameni, Moolla, Gulumian, & Brouwer, 2019; สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555) มีรายละเอียดดังนี้

1) เมื่อรับสัมผัสสารเบนซีนผ่านกระบวนการหายใจ โดยระดับความเข้มข้นที่ต่ำสุด 10 ส่วนในล้านส่วน สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ของระบบประสาท เกิดความเป็นพิษในกระแสเลือดและอวัยวะที่ทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือด หากได้รับสารเบนซีนที่

ความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานาน สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกาย โดยเฉพาะระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการมึนงง วิงเวียนศีรษะ สัน ง่วงซึม และเกิดอาการอ่อนแรง ในปัจจุบันยังไม่พบการรักษาหรือการต้านพิษของสารเบนซีนเมื่อรับเข้าสู่ร่างกาย โดยการรักษาในเบื้องต้นเป็นเพียงการรักษาประคับประคอง ตามอาการไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปยังพื้นที่อากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรับสารเบนซีนอีก เมื่อได้รับสัมผัสสารเบนซีนที่ระดับความเข้มข้นต่ำเป็นระยะเวลานาน อาจมีผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย ดังนี้ ทำให้ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย หงุดหงิด ภาวะนอนไม่หลับ การตัดสินใจผิดพลาด นอนไม่หลับ กล้ามเนื้ออ่อนแรง สมอรรถกทำลาย มีความผิดปกติของเส้นประสาทสมอง ผิวหนังแห้ง เป็นผื่นแดงพุพองและเป็นสะเก็ด มีพิษต่อไขกระดูกที่ทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือด ทำให้เกิดกระบวนการสร้างเซลล์เม็ดเลือดและเกล็ดเลือดได้น้อยลง ส่งผลให้เกิดเกล็ดเลือดต่ำและเสี่ยงต่อภาวะโลหิตจางแบบ Aplastic anemia ส่งผลต่อเนื้อเยื่อในระบบน้ำเหลืองในการผลิตเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) ที่สร้างแอนติบอดีได้น้อยลง ส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง และเพิ่มโอกาสในการติดเชื้อได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดเฉียบพลันแบบ Acute myeloblastic leukemia (AML) ได้

2) เมื่อได้รับโทลูอีนในรูปแบบของไอเข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ ส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพลดลง โดยอาการเบื้องต้นเมื่อได้รับสารโทลูอีนที่ระดับความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ต่ำสุดที่ร่างกายสามารถเกิดความผิดปกติโดยพบอาการแสดงตั้งแต่เกิดการระคายเคืองตาและลำคอ ง่วงซึม อ่อนเพลีย ไม่มีแรง คลื่นไส้ ความคิดความอ่านเกิดการสับสน นอกจากนี้ยังพบอาการที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารผ่านไป 8 ชั่วโมง คือ กล้ามเนื้ออ่อนแรง กระสับกระส่าย และนอนไม่หลับ ผลกระทบในระยะสั้นและได้รับสารโทลูอีนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ส่งผลให้เกิดอาการเคลิ้มและเป็นสุข (Euphoria) ความรู้สึกชาและอาจสูญเสียความทรงจำชั่วคราว (Amnesia) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบเนื้อเยื่อภายในร่างกาย เกิดความผิดปกติต่อการทำงานของตับและไตโดยตรง เมื่อได้รับสัมผัสสารโทลูอีนเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย และไม่มีแรง ทำทางหรือบุคลิกภาพผิดปกติ และความจำเสื่อม เนื่องจากระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลาย ประสิทธิภาพการทำงานของสายตา การเคลื่อนไหว การทรงตัว และความคล่องแคล่วของร่างกายลดลง และในเพศหญิงพบว่าการได้รับสารโทลูอีนติดต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดปกติของการเป็นประจำเดือนและระดับฮอร์โมนในร่างกายได้

3) เมื่อมีการรับสัมผัสสารเอทิลเบนซีนผ่านการหายใจ จะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งเป็นอวัยวะเป้าหมายสำคัญสำหรับการรับสัมผัสสารเอทิลเบนซีน กรณีได้รับในปริมาณน้อยในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ อาจทำให้เกิดดวงตา จมูก คอ และบริเวณชั้นเยื่อเมือก (Mucous membrane) เกิดการระคายเคือง ทำให้น้ำตาไหล ระคายเคืองทางเดินหายใจส่วนต้น น้ำมูกไหล เจ็บคอ หากได้รับในระดับความเข้มข้นสูง จะมีผลกระทบต่อระบบประสาทโดยตรง อาการที่แสดง ได้แก่ อาการมึนงง วิงเวียนศีรษะ เดินเซ คลื่นไส้ อาเจียน ระบบประสาทส่วนกลางถูกกด ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของการควบคุมและเคลื่อนไหว หรืออาจทำให้เกิดการหมดสติ เป็นอัมพาตหรือเสียชีวิตได้ หากได้รับสัมผัสสารเอทิลเบนซีนเป็นระยะเวลาานติดต่อกัน จะส่งผลเรื้อรังในรูปแบบความเสี่ยงชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ ความผิดปกติภายในหูและการได้ยินความผิดปกติในการทำงานของระบบหมุนเวียนโลหิต ตับ และไต รวมถึงการส่งเสริมการเกิดเนื้องอกในปอดและไต

4) เมื่อรับสัมผัสสารไซลีนผ่านการหายใจ โดยระดับความเข้มข้นที่ต่ำสุดของไซลีนในบรรยากาศไม่ควรเกิน 130 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ แต่กรณีได้รับไซลีนปริมาณสูงในช่วงเวลาสั้น ส่งผลกระทบต่ออวัยวะและระบบเป้าหมาย ได้แก่ ทำให้ผิวหนัง ตา จมูก และคอ เกิดการระคายเคือง ส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยทำให้เกิดอาการง่วงซึม ปวดศีรษะ สับสน มึนงง หายใจติดขัด ความทรงจำเสื่อม หัวใจเต้นผิดปกติ หงุดหงิด กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน การตอบสนองช้าลง อาจมีการเปลี่ยนแปลงของตับและไต หรืออาจทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้ หากได้รับสัมผัสสารไซลีนเป็นระยะเวลาาน อาจทำให้ตับ ไต และระบบประสาทถูกทำลายมากขึ้น เกิดการสะสมในร่างกายจนทำให้ผู้รับสัมผัสเกิดอาการไอ เกิดอาการปอดบวม (Pulmonary edema) หรือเกิดภาวะปอดอักเสบจากการได้รับสารเคมี (Chemical pneumonitis) จนทำให้เกิดภาวะระบบหายใจล้มเหลว (Respiratory failure) และเสียชีวิตในที่สุด

5) เมื่อรับสัมผัสสารสไตรีน ทำให้มีอาการระคายเคืองบริเวณดวงตา จมูก ริมฝีปาก เยื่อบุทางเดินหายใจส่วนบน ผิวหนังเกิดการอักเสบ หากหายใจรับสารสไตรีนในช่วงเวลาสั้น ๆ สามารถตอบสนองต่อสิ่งต่าง ๆ ได้ช้าลง และพบปัญหาทางสายตา หากได้รับสารสไตรีนปริมาณมาก จะเกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการซึม ง่วงนอน มึนงง ชาตสมาธิหรือทำให้มีอาการชัก การทรงตัวไม่สมดุล บางรายเป็นตะคริวรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิต การรับสัมผัสสารสไตรีนที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นระยะเวลาาน ทำให้มีสูญเสียการได้ยินได้ เนื่องจากเซลล์ขน (Hair cell) ในหูชั้นในถูกทำลาย ส่งผลกระทบต่อระบบสปีพันท์ ความแข็งแรงของอสุจิ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสารพันธุกรรม ภาวะโลหิตจาง เกิดเลือดต่ำ ต่อมาน้ำเหลืองเกิดความผิดปกติ ทั้งนี้สไตรีน

อาจเป็นสารที่ส่งเสริมการเกิดเนื้องอกได้ นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสตรีที่ตั้งครรภ์และทารก ทำให้มีโอกาสแท้งมากขึ้นหากสัมผัสกับสารสไตรีน

อย่างไรก็ตามการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในงานวิจัยนี้ เป็นค่าที่ได้จากสมมติฐานการทำงานหรืออาศัยอยู่บริเวณสถานที่กำจัดขยะเทกองกลางแจ้ง โดยเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 30 ปี โดยน้ำหนักของผู้ทำงานในสถานที่กำจัดขยะใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวประชากรไทย และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ได้จากการตรวจวัดเฉพาะช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ดังนั้นข้อมูลเหล่านี้เป็นเพียงการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในเบื้องต้นเท่านั้น แต่สามารถนำข้อมูลนี้เป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย เพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอย ทั้งภาครัฐและเอกชนเร่งส่งเสริมและควบคุมกระบวนการกำจัดขยะให้มีประสิทธิภาพถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลและเกิดความยั่งยืน เพื่าระวังปัญหามลพิษทางอากาศจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้มีความเหมาะสม สร้างองค์ความรู้แก่ประชาชนในการวางแผน ปรับปรุง และแนวทางการป้องกันปัญหาสารมลพิษที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอย เช่น เมื่อผู้ปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะจำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเพื่อความปลอดภัยอยู่ตลอดเวลา รวมถึงกำหนดขั้นตอน วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง กำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพ นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศที่ตรวจพบในพื้นที่ ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อคนงานในบริเวณพื้นที่เทกองขยะมูลฝอย แต่ยังสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความกังวลด้านสุขภาพของประชาชนโดยรอบ ทั้งในเขตชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้นทุกภาคส่วนควรตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง และร่วมกันหาแนวทางป้องกันหรือวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษด้านอากาศทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

### 3. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี มีผลการวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้งให้ถูกหลักสุขาภิบาล เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยผู้วิจัยจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้ที่สนใจ ได้นำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับนักวิจัยที่จะศึกษาในพื้นที่ ดังต่อไปนี้

1) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนควรนำผลการวิจัยเรื่อง การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน อ้างอิงประกอบการจัดทำนโยบาย แผน แนวปฏิบัติที่ถูกต้องหรือมาตรการควบคุมกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของประชาชนอย่างยั่งยืน

2) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสร้างความตระหนักให้กับประชาชน ถึงผลกระทบอันเกิดจากการไม่คัดแยกขยะมูลฝอยที่ต้นทางและกลางทาง ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกค้างของขยะมูลฝอยในกระบวนการกำจัดปลายทาง ทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพและการสัมผัสสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่ร่างกาย ควรมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ความรู้ ความร่วมมือ ส่งเสริมและสนับสนุนข้อมูลตลอดกระบวนการต่าง ๆ กับประชาชน เพื่อให้เกิดความยั่งยืนกับกระบวนการจัดการและคัดแยกขยะในภาคประชาชนอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

3) ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะมูลฝอย จำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเพื่อความปลอดภัยอยู่ตลอดเวลา รวมถึงกำหนดขั้นตอน วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง อีกทั้งกำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น

4) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการจัดการสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี เช่น การพัฒนานวัตกรรมที่นำมาช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ หรือการออกแบบเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอย เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย



## บรรณานุกรม

- Al Mamun, M. R., & Torii, S. (2017). Anaerobic CO-digestion technology in solid wastes treatment for biomethane generation. *International Journal of Sustainable Energy*, 36(5), 462-472.
- Andreae, M. O. a. C., Paul J. (1997). Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, 276(5315), 1052-1058.
- Andrews, W. A. (1972). *Guide to the study of environmental pollution*. New Jersey: N.J., Prentice-Hall.
- Bortey-Sam, N., Nakayama, S. M., Ikenaka, Y., Akoto, O., Baidoo, E., Mizukawa, H., & Ishizuka, M. (2015). Health risk assessment of heavy metals and metalloid in drinking water from communities near gold mines in Tarkwa, Ghana. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-12.
- Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2019). Dietary change scenarios and implications for environmental, nutrition, human health and economic dimensions of food sustainability. *Nutrients*, 11(4), 856.
- Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Kumar, S., & Hettiaratchi, J. (2007). Solid waste characteristics and their relationship to gas production in tropical landfill. *Environmental monitoring and assessment*, 135, 41-48.
- Churchill, J. E., Ashley, D. L., & Kaye, W. E. (2001). Recent chemical exposures and blood volatile organic compound levels in a large population-based sample. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 56(2), 157-166.
- Cullis, C., & Hirschler, M. (1989). Man's emissions of carbon monoxide and hydrocarbons into the atmosphere. *Atmospheric Environment (1967)*, 23(6), 1195-1203.
- Davison, B., Taipale, R., Langford, B., Misztal, P., Fares, S., Matteucci, G., . . . Hewitt, C. (2009). Concentrations and fluxes of biogenic volatile organic compounds above a Mediterranean macchia ecosystem in western Italy. *Biogeosciences*, 6(8), 1655-1670.



- Duffus, J. H. (2007). Carcinogenicity classification of vanadium pentoxide and inorganic vanadium compounds, the NTP study of carcinogenicity of inhaled vanadium pentoxide, and vanadium chemistry. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 47(1), 110-114.
- Durmusoglu, E., Taspinar, F., & Karademir, A. (2010). Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of hazardous materials*, 176(1-3), 870-877.
- Grote, R., & Niinemets, Ü. (2007). Modeling volatile isoprenoid emissions—a story with split ends. *Plant Biology*, 9(S 01), e42-e59.
- Heibati, B., Pollitt, K. J. G., Karimi, A., Charati, J. Y., Ducatman, A., Shokrzadeh, M., & Mohammadyan, M. (2017). BTEX exposure assessment and quantitative risk assessment among petroleum product distributors. *Ecotoxicology and environmental safety*, 144, 445-449.
- Issa, Y., Sham'a, F. A., Nijem, K., Bjertness, E., & Kristensen, P. (2010). Pesticide use and opportunities of exposure among farmers and their families: cross-sectional studies 1998-2006 from Hebron governorate, occupied Palestinian territory. *Environmental Health*, 9, 1-10.
- Khademi, F., Samaei, M. R., & Shahsavani, A. (2022). Investigation of the presence volatile organic compounds (BTEX) in the ambient air and biogases produced by a Shiraz Landfill in Southern Iran. *Sustainability*, 14(2), 1040.
- Laothawornkitkul, J., Taylor, J. E., Paul, N. D., & Hewitt, C. N. (2009). Biogenic volatile organic compounds in the Earth system. *New Phytologist*, 183(1), 27-51.
- Liu, Y., Yang, H., & Lu, W. (2020). VOCs released from municipal solid waste at the initial decomposition stage: Emission characteristics and an odor impact assessment. *Journal of Environmental Sciences*, 98, 143-150.
- López-Feria, S., Cárdenas, S., & Valcárcel, M. (2010). Benzene, Toluene, Ethylbenzene, (o-, m-and p-) Xylenes and Styrene in Olive Oil *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention* (pp. 463-470): Elsevier.

- Marganda, S., & Ashar, T. (2018). The effect of toluene exposure on central nervous disorder among printing workers. *Indonesian Journal of Medicine*, 3(3), 115-123.
- Masekameni, M. D., Moolla, R., Gulumian, M., & Brouwer, D. (2019). Risk assessment of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene concentrations from the combustion of coal in a controlled laboratory environment. *International journal of environmental research and public health*, 16(1), 95.
- Nie, E., Zheng, G., Shao, Z., Yang, J., & Chen, T. (2018). Emission characteristics and health risk assessment of volatile organic compounds produced during municipal solid waste composting. *Waste management*, 79, 188-195.
- Pan, Q., Liu, Q.-Y., Zheng, J., Li, Y.-H., Xiang, S., Sun, X.-J., & He, X.-S. (2023). Volatile and semi-volatile organic compounds in landfill gas: Composition characteristics and health risks. *Environment international*, 107886.
- Paulauskiene, T., Zabukas, V., Vaitiekunas, P., Zukauskaitė, A., & Kvedaras, V. (2011). Investigation of volatile organic compounds (VOCs) emission beyond the territory of oil terminals during different seasons. *Journal of environmental Engineering and Landscape management*, 19(1), 44-52.
- Persad, A. S., & Cooper, G. S. (2008). Use of epidemiologic data in integrated risk information system (IRIS) assessments. *Toxicology and applied pharmacology*, 233(1), 137-145.
- Pierucci, P., Porazzi, E., Martinez, M. P., Adani, F., Carati, C., Rubino, F. M., . . . Benfenati, E. (2005). Volatile organic compounds produced during the aerobic biological processing of municipal solid waste in a pilot plant. *Chemosphere*, 59(3), 423-430.
- Rogula-Koztowska, W., Bralewska, K., & Jureczko, I. (2020). BTEXS concentrations and exposure assessment in a fire station. *Atmosphere*, 11(5), 470.
- Schultz, P. W., Shriver, C., & Tabanico, J. J. (2004). Implicit connections with nature. *Journal of environmental psychology*, 24(1), 31-42.
- Tamrakar, A., Pervez, S., Verma, M., Majumdar, D., Pervez, Y. F., Candeias, C., . . . Deb, M. K. (2022). BTEX in Ambient Air of India: a Scoping Review of their Concentrations, Sources, and impact. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(10), 411.

- Tchobanoglous, G. a. K., Frank,. (2005). *Handbook of solid waste management (2)*. New York: McGraw-Hill Education.
- The chemical abstracts service. (2000). *Chemical Abstracts Service Registry Number (CASRN)*. Ohio: The chemical abstracts service.
- Tran, L. H., Murayama, T., Enomoto, C., & Nishikizawa, S. (2020). Impact of odor from a landfill site on surrounding areas: A case study in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Environment and Natural Resources Journal*, 18(4), 322-332.
- United states department of health human services. (2005). Agency for toxic substances and disease registry. *Toxicological profile for lead*.
- United states environmental protection agency. (1989). Risk assessment guidance for superfund volume I. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 44(2), 69-74.
- United states environmental protection agency. (1996). *Air quality criteria for particulate matter*. Washington, D.C.: United state environmental protection agency.
- United States Environmental Protection Agency. (2007). *Concepts, Methods, and Data Sources For Cumulative Health Risk Assessment of Multiple Chemicals, Exposures and Effects: A Resource Document (Final Report, 2008)*. Washington, DC.
- United States Environmental Protection Agency. (2016). *Supplemental guidance for assessing susceptibility from early-life exposure to carcinogens*.
- Windham, G. C., Shusterman, D., Swan, S. H., Fenster, L., & Eskenazi, B. (1991). Exposure to organic solvents and adverse pregnancy outcome. *American journal of industrial medicine*, 20(2), 241-259.
- World health organization (WHO). (2022). Technical overview of volatile organic compounds. from World health organization regional office for Europe
- Wu, W., Zhu, K., Zhen, C., Zhang, J., & Lu, J. (2018). *Numerical simulation of the effect of wind speed on VOCs diffusion concentration distribution in liquid cargo port area*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

- เกษม จันทร์แก้ว. (2541). เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). คู่มือการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ.  
 กรุงเทพมหานคร:
- กรมควบคุมมลพิษ. (2547). พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ. ศ. 2535  
 กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ (6).
- กรมควบคุมมลพิษ. (2552). กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปใน  
 เวลา 24 ชั่วโมง. สืบค้นจาก <https://www.pcd.go.th/laws/>
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). สรุปสถานการณ์มลพิษ  
 ของประเทศไทย พ.ศ. 2546. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2565). รายงานสถานการณ์  
 ปัญหามลพิษของประเทศไทย ปี 2564 กรุงเทพฯ: บริษัท เอพี คอนเน็กซ์ จำกัด
- กรมควบคุมมลพิษ กองแผนงานและประเมินผล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.  
 (2559). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ. ศ. 2558. กรุงเทพฯ:  
 กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ  
 สิ่งแวดล้อม. (2554). คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้  
 เป็นพลังงานสำหรับท้องถิ่น (*Guideline of Waste Management and Waste-to-Energy  
 Technologies for Municipalities*). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ  
 สิ่งแวดล้อม. (2566). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย  
 ปี พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ  
 สิ่งแวดล้อม. (2552). คู่มือการดำเนินการลดขยะมูลฝอยภายในอาคารสำนักงาน. กรุงเทพฯ:  
 บริษัท ฮีท จำกัด.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2550).  
 คู่มือมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. ชลบุรี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13

- กิตติ ชยางคกุล. (2555). ผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอย: ศึกษากรณีการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. *EAU Heritage Journal Social Science and Humanities*, 2(1), 154-165.
- กุลยา โอตากะ. (2547). เคมีสิ่งแวดล้อม (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- จรรยา ปรีวิชัยวิสุทธิ. (2552). การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน. (บัณฑิตวิทยาลัย). มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- ณิชชา บุรณสิงห์. (2558). ขยะด้อยค่า : ประโยชน์ทางพลังงานที่คาดไม่ถึง. กรุงเทพฯ สำนักวิชาการสำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.
- ธเนศ ศรีสถิต. (2553). วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน (*Municipal solid waste management engineering*). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์. (2552). เคมีบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30. (2550). กำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 124 ตอนพิเศษ 143 ง. (ลงวันที่ 29 กันยายน 2550).
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. (2550). โครงการระดับรายวันของฝุ่นในอากาศ และผลกระทบต่อสุขภาพในผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- มณีรัตน์ บุญชา. (2549). การประเมินอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหย จากพื้นที่กำจัดมูลฝอยชุมชนในประเทศไทย. (ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2525). พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- วิชากร จารุศิริ. (2561). การจัดการของเสียอันตรายและกากอุตสาหกรรม (*Hazardous and industrial waste management*). กรุงเทพฯ: บริษัท อักษรวิศ จำกัด.
- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2556). การเก็บตัวอย่างและตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สาวิตรี พูลมา และ ทรรศนีย์ พงกษาสิทธิ์. (2548). การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย จากสิ่งแวดล้อม  
ของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร. (ปริญาโท). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. (2535). พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535.  
ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109 ตอนที่ 38 หน้า 28 (ลงวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2535).
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2524). พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ  
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2543). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนา  
คุณภาพสิ่งแวดล้อมของเมืองหลัก ฉบับที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม  
แห่งชาติ.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดปทุมธานี. (2562). รายงานการวิเคราะห์สภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม  
(กรกฎาคม-ธันวาคม). ปทุมธานี: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดปทุมธานี.
- สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2555). คู่มือวิชาการ เรื่องสารอินทรีย์  
ระเหยง่ายในบรรยากาศ กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่าน  
ศึกในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สุรารักษ์ ขาวอิน. (2556). การศึกษาแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในโรงเรียนโดยใช้กระบวนการ  
A-I-C : กรณีศึกษาโรงเรียนบุญเหลือวิทยานุสรณ์ จังหวัดนครราชสีมา. (บัณฑิตวิทยาลัย).  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อาณัติ ต๊ะปิ่นตา. (2553). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อู่แก้ว ประกอบไวกิจ บีเวอร์. (2531). นิเวศวิทยา. กรุงเทพฯ: บริษัท โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช  
จำกัด.





ภาคผนวก ก  
เอกสารจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

MF-04-version-2.0

วันที่ 18 ต.ค. 61



หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง  
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

ชื่อโครงการวิจัย : การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน  
บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกอง จังหวัดปทุมธานี  
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นาย พิสรรค์ กล่อมเกลี้ยง  
หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ  
รหัสโครงการวิจัย : SWUEC-G-439/2565X

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยืนยัน : 24 พฤศจิกายน 2565  
ยืนยันโดย : คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดำเนินการ  
รับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the  
Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical  
Practice (ICH-GCP)

ออกให้ ณ วันที่ 19 ธันวาคม 2565

(ลงชื่อ).....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เข็มจิรกุล)  
กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรม  
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....  
(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)  
ประธานคณะกรรมการจริยธรรม  
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X/G-439/2565



### ข้อปฏิบัติสำหรับผู้วิจัยที่ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอแจ้งให้ทราบเกี่ยวกับหน้าที่ และความรับผิดชอบของผู้วิจัยหลังจากโครงการวิจัย ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์แล้ว ขอความกรุณาดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยจะต้องดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่างๆ ที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยโดยเคร่งครัด โดยใช้เอกสารชี้แจงอาสาสมัคร (Information Sheet) หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Informed Consent Form) ป้ายประชาสัมพันธ์ รวมถึงเอกสารอื่น ที่ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการฯ แล้วเท่านั้น
2. ผู้วิจัยมีหน้าที่รายงานต่อคณะกรรมการฯ เมื่อ
  - 2.1 มีการดำเนินงานวิจัยครบระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะต้องมีการรายงานความก้าวหน้าของการวิจัยตามระยะเวลาที่คณะกรรมการฯ กำหนดในเอกสารใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (แบบเอกสารที่ MF 04) หรือเมื่อครบหนึ่งปีจากวันที่ระบุไว้ในเอกสารใบรับรองของโครงการวิจัย โดยใช้แบบรายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 13-1)
  - 2.2 สำหรับโครงการวิจัยที่ยังไม่เสร็จสิ้นแต่เอกสารใบรับรองฯ หมดอายุ ผู้วิจัยจะต้องส่งหนังสือบันทึกข้อความเพื่อขอต่ออายุใบรับรองฯ ภายใน 30 วัน ก่อนวันหมดอายุตามที่กำหนดไว้ในเอกสารใบรับรองฯ พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย มิฉะนั้น คณะกรรมการฯ จะไม่รับรองการทำวิจัย หรือ การเก็บข้อมูลในระยะเวลาหลังจากเอกสารใบรับรองหมดอายุ
  - 2.3 หากผู้วิจัยมีความจำเป็นในการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย (Protocol Amendment) หรือมีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัย/เพิ่มเติมผู้ร่วมวิจัย ฯลฯ ผู้วิจัยจะต้องเสนอการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม โดยใช้แบบรายงานส่วนแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 07-1) โดยผู้วิจัยจะต้องระบุให้ชัดเจนว่า มีการเปลี่ยนแปลงอะไร อย่างไร และเหตุผลที่ต้องการเปลี่ยนแปลง ทั้งในในกรณีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัย หรือเพิ่มเติมผู้ร่วมวิจัยคนใหม่ ให้แนบแบบประวัติผู้วิจัย (แบบเอกสารที่ MF 09-1) และใบประกาศนียบัตรการอบรม (ถ้ามี)
  - 2.4 หากมีเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในอาสาสมัคร จากการดำเนินโครงการวิจัย (Serious Adverse Events) เกิดขึ้นแก่อาสาสมัครของโครงการวิจัยในสถาบัน ผู้วิจัยจะต้องทำเอกสารแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 7 วัน และหากเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงนั้น เป็นเหตุให้อาสาสมัครถึงแก่ชีวิต ผู้วิจัยจะต้องทำเอกสารแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 24 ชั่วโมง (โดยทางหนังสือบันทึกข้อความ จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือ โทรสาร) หลังจากผู้วิจัยทราบเหตุการณ์ โดยใช้แบบรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ สำหรับอาสาสมัครในสถาบันให้ใช้แบบเอกสารที่ MF 19 แบบรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่เกิดแก่อาสาสมัครนอกสถาบันให้ใช้แบบเอกสารที่ MF 18 และ/หรือ CIOMS Form แบบเอกสารที่ MF 19-2

2.5 หากมีการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด (Non-Compliance/Protocol deviation) ผู้วิจัยจะต้องรายงานให้คณะกรรมการฯ รับทราบ ภายใน 7 วัน นับจากที่ตรวจพบ โดยใช้แบบรายงานการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด (แบบเอกสารที่ MF 21)

2.6 โครงการวิจัยที่ยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด ให้ผู้วิจัยส่งหนังสือแจ้งปิดโครงการวิจัยนั้น พร้อมเหตุผลในการยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด โดยใช้แบบรายงานเพื่อยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด (แบบเอกสารที่ MF 14-1) และการดูแลอาสาสมัครหลังจากยุติโครงการวิจัยแก่คณะกรรมการฯ

2.7 โครงการวิจัยที่เสร็จสิ้นแล้ว ให้ผู้วิจัยส่งรายงานสรุปผลการวิจัย โดยใช้แบบรายงานสรุปผลการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 15-1)

คณะกรรมการฯ อาจมีการสุ่มเข้าตรวจเยี่ยมโครงการวิจัย (Site Monitoring Visit) เพื่อดูความเรียบร้อยของการดำเนินงาน รับฟัง และให้คำปรึกษาข้อปัญหาที่อาจมีในระหว่างการดำเนินงานโครงการวิจัย โดยสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย จะมีหนังสือแจ้งให้ผู้วิจัยได้ทราบล่วงหน้า เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผลการตรวจเยี่ยมโครงการวิจัยจะแจ้งเพื่อทราบในที่ประชุมคณะกรรมการฯ และจะแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้วิจัยได้ทราบ และอาจมีข้อเสนอแนะนำไปปฏิบัติต่อไป

ผู้วิจัยสามารถ download เอกสารต่างๆ ได้ที่

<http://research.swu.ac.th/index.php?option=download&Itemid=6> งานมาตรฐานจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย หากมีข้อสงสัยสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมในวิธีดำเนินการมาตรฐาน (SOPs) หรือสอบถามเจ้าหน้าที่สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมฯ ได้ที่หมายเลขโทรศัพท์ 0-2649-5000 ต่อ 11019, 11014 หมายเลขโทรสาร 0-2259-1822



ภาคผนวก ข  
เอกสารประกอบการดำเนินการวิจัย



ที่ อว ๘๗๑๑.๑/๔๘๒

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท ๒๓ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๑๓ ตุลาคม ๒๕๖๕

เรื่อง ขอบขออนุญาตเข้าพื้นที่บริเวณการเทกองขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม เพื่อให้จัดส่งเก็บข้อมูลประกอบการวิจัย

เรียน นายกองค้การบริหารส่วนตำบลคลองสาม

ด้วยคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้กำหนดให้นิสิตจัดทำปริญญาานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร โดยนายพิสิทธ์ กล่อมเกลี้ยง ได้ดำเนินการจัดทำปริญญาานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองจังหวัดปทุมธานี โดยมีอาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์และ ผศ.ดร. อรอนงค์ ผิวนิล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งงานวิจัยดังกล่าว มีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเทกองของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสามนั้น

ในการนี้จึงขอความอนุเคราะห์ข้อมูลการจัดการขยะแบบเทกอง ข้อมูลธรณีวิทยา ลักษณะพื้นที่โดยรอบบริเวณการเทกองของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม และขอความอนุเคราะห์ให้นิสิตเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะและอากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ระหว่างวันที่ ๑๗ มกราคม ๒๕๖๖ เวลา ๘.๓๐ - ๑๖.๓๐ น. โดยมี นายพิสิทธ์ กล่อมเกลี้ยง เป็นนิสิตผู้ประสานงานวิจัย หมายเลขโทรศัพท์ ๐๙๑-๐๑๘๐๕๔๘ อีเมล pisan.klomkian@swu.ac.th

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุเคราะห์ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิษุขกร จารุศิริ)

คณบดีคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

ปฏิบัติการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

โทรศัพท์ ๐ ๒๖๔๙ ๕๐๐๐ ต่อ ๑๑๓๐๘



ที่ อว ๘๗๑๑.๑/๙๘๓

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุขุมวิท ๒๓ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๑๓ ตุลาคม ๒๕๖๕

เรื่อง ขออนุญาตเข้าพื้นที่บริเวณการเทกองขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม เพื่อให้ผลิตเก็บข้อมูล  
ประกอบการวิจัย

เรียน ผู้จัดการ บริษัท ต.คิตติ โปรดักส์ จำกัด

ด้วยคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้กำหนดให้นิสิตจัดทำปริญญานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร โดยนายพิสร์รค์ กล่อมเกลี้ยง ได้ดำเนินการจัดทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองจังหวัดปทุมธานี โดยมีอาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และ ผศ.ดร. อรอนงค์ ฝวีนิล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งงานวิจัยดังกล่าว มีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเทกองของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสามนั้น

ในการนี้จึงขออนุญาตเข้าพื้นที่ข้อมูลการจัดการขยะแบบเทกอง ข้อมูลธรณีวิทยา ลักษณะพื้นที่ โดยรอบบริเวณการเทกองของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม และขออนุญาตให้ให้นิสิตเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะและอากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ระหว่างวันที่ ๑๗ มกราคม ๒๕๖๖ เวลา ๘.๓๐ - ๑๖.๓๐ น. โดยมี นายพิสร์รค์ กล่อมเกลี้ยง เป็นนิสิตผู้ประสานงานวิจัย หมายเลขโทรศัพท์ ๐๙๑-๐๑๘๐๕๕๘ อีเมล pisan.klomklang@g.swu.ac.th

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาต จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิษชากร จารุศิริ)

คณบดีคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

ปฏิบัติการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

โทรศัพท์ ๐ ๒๖๔๙ ๕๐๐๐ ต่อ ๑๓๓๐๘

ที่ อว ๘๗๑๑.๑/๔๔



มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุขุมวิท ๒๓ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๑๓ มกราคม ๒๕๖๖

เรื่อง ขออนุญาตเข้าพื้นที่และใช้เครื่องมือวิเคราะห์  
เรียน หัวหน้ากลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศ

ด้วยคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้จัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา ในรายวิชา GRT๖๔๑ Master's Thesis ให้กับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา โดยนายพิสรุค กล่อมเกลี้ยง นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร ได้จัดทำปฏิญานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกอง จังหวัดปทุมธานี โดยมีอาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปฏิญานิพนธ์ และ ผศ.ดร. อรอนงค์ ผิวนิล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งงานวิจัยดังกล่าว มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (airmOzone) สำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้น

ในการนี้จึงใคร่ขออนุญาตเข้าพื้นที่ นายพิสรุค กล่อมเกลี้ยง เข้าพื้นที่คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขออนุญาตเข้าพื้นที่หัวหน้ากลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศ ในการเข้าใช้เครื่องมือ ในวันที่ ๒๓ มกราคม ๒๕๖๖ เวลา ๘.๓๐ - ๑๖.๓๐ น. โดยมี นายพิสรุค กล่อมเกลี้ยง เป็นนิสิตผู้ประสานงานวิจัย หมายเลขโทรศัพท์ ๐๙๑-๐๑๘๐๕๔๘ อีเมล pisan.klomklang@g.swu.ac.th

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาต จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิษاکกร จารศิริ)

คณบดีคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ  
ปฏิบัติการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

โทรศัพท์ ๐ ๒๖๔๙ ๕๐๐๐ ต่อ ๑๑๓๐๘

โทรสาร ๐ ๒๖๖๐ ๒๙๐๓

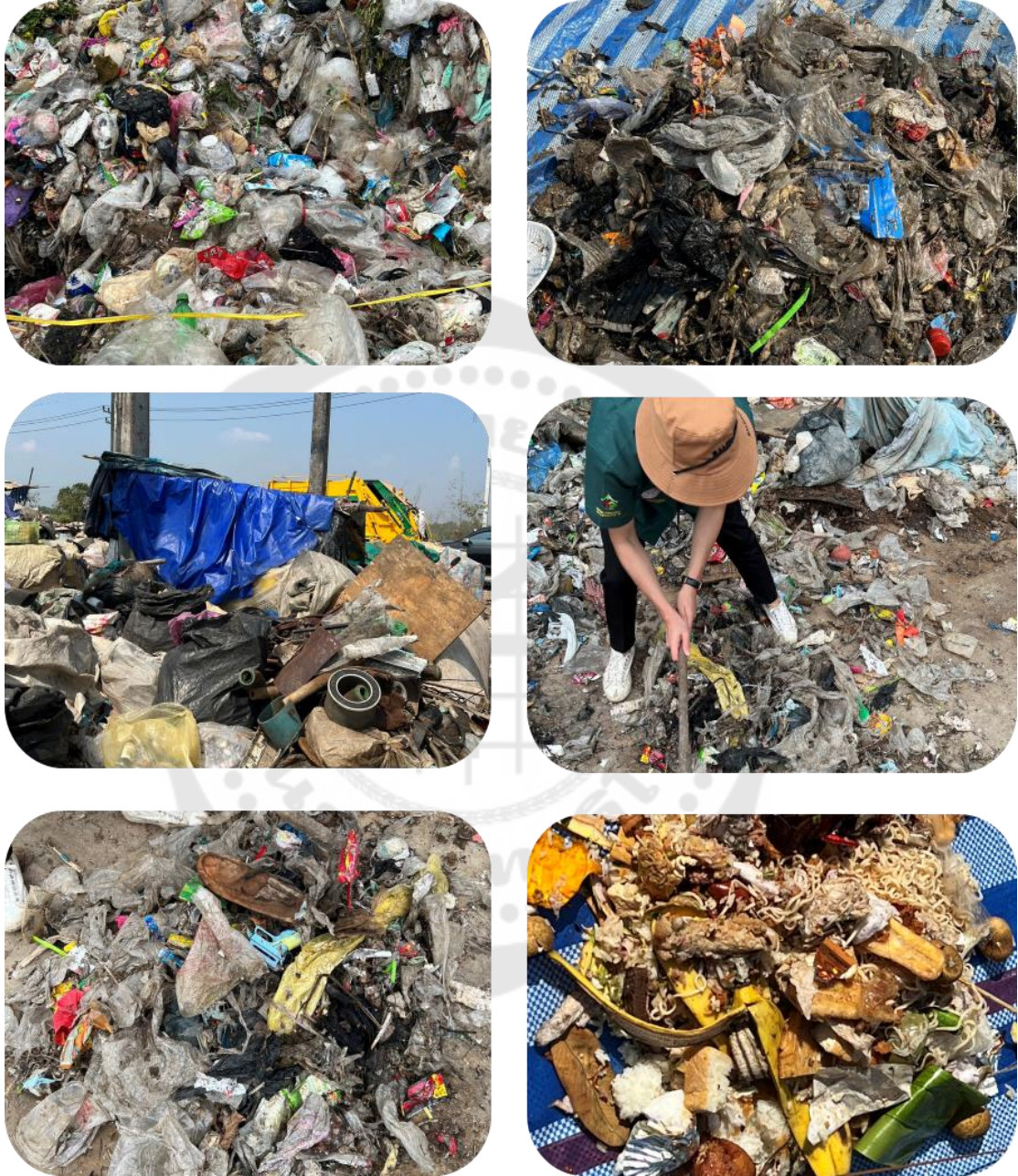


ภาคผนวก ค  
ตัวอย่างภาพการดำเนินการวิจัย



ภาพประกอบ 26 การลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้น บริเวณสถานที่กำจัดขยะ  
แบบเทกองกลางแจ้ง องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม จังหวัดปทุมธานี





ภาพประกอบ 27 การวิเคราะห์และจำแนกองค์ประกอบของขยะมูลฝอย บริเวณสถานที่กำจัดขยะ  
แบบเทกองกลางแจ้ง





ภาพประกอบ 28 การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์  
ชนิดวางติดกับที่ (Static flux chamber) บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง





ภาพประกอบ 29 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายเชิงคุณภาพด้วย GC-MS



ภาพประกอบ 30 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากตัวอย่างอากาศในห้องปฏิบัติการ  
ผ่านเทคนิค GC-FID ด้วยเครื่อง Airmo VOCs analyzer

ประวัติผู้เขียน

