



การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย
จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยกลางแจ้ง ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

The Health Risk Assessment of Exposure to Volatile Organic Compounds
(VOCs) Emission from Municipal Solid Waste of an Open Dumpsite Disposal
in Khlong Luang District, Pathum Thani Province

พิสรณ์ กล่อมเกลี้ยง¹ ปิยนุช ไชแก้ว² อรอนงค์ ผิวนิล³ และ ณภัทร โพธิ์วัน^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

³ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Pisan Klomkliang¹, Piyanuch Jaikaew², Onanong Phewnil³ and Naphat Phowan^{1*}

¹Program of Environmental Technology and Resources Management,
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110

²Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering,
Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok 26120

³Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding author: naphat@g.swu.ac.th

Received: 12 May 2023/ Revised: 7 July 2023/ Accepted: 10 July 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทค (BTEXs) โดยใช้อุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ชนิดวางติดอยู่กับที่ (Static Flux Chamber) วิเคราะห์ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) และ Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) ผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย 83 ชนิด จำแนกตามโครงสร้างสารประกอบออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ แอลเคน แอลคีน แอลไคน์ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และฮาโลเจนเตต ไฮโดรคาร์บอน พบความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย 5 อันดับ ดังนี้ โทลูอิน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอน-โนเนน ไตรคลอโรเอทิลีน และไอโซพรีน (1376.23 ± 1219.09 , 1248.40 ± 825.41 , 1229.72 ± 424.29 , 1144.63 ± 913.63 และ 1135.22 ± 449.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) พบความเข้มข้นสารกลุ่มบีเทคในแต่ละบริเวณที่เก็บตัวอย่างทุกชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทค พบความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารชนิดก่อมะเร็ง ในเพศชายมีค่าเท่ากับ 3.74×10^{-5} และ 4.53×10^{-5} แต่ไม่พบความเสี่ยงของสารชนิดที่ไม่ก่อมะเร็ง ยกเว้นเบนซีนที่พบค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน



กำหนด จึงควรมีแนวทางการป้องกันและเฝ้าระวังที่เหมาะสม เพื่อให้จัดการขยะมูลฝอยชุมชนได้อย่างปลอดภัย มีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ระเหยง่าย ขยะมูลฝอยชุมชน สถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Abstract

The research aimed to investigate the concentration of volatile organic compounds (VOCs) emission from the municipal solid waste of an open dumpsite disposal in Khlong Luang district, Pathum Thani province. The BTEXs concentration was used to assess the health risk of inhalation exposure. Using a Static Flux Chamber, measurement was carried out using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID). The results of 83 VOCs were classified by compound structure into 5 groups: Alkanes, Alkenes, Alkynes, Aromatic Hydrocarbons, and Halogenated Hydrocarbons. The highest average concentration of VOCs in the top 5 as follows: Toluene, Carbon tetrachloride (CCl_4), n-Nonane, Trichloroethylene (TCE) and Isoprene (1376.23 ± 1219.09 , 1248.40 ± 825.41 , 1229.72 ± 424.29 , 1144.63 ± 913.63 and $1135.22 \pm 449.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively). The concentration of BTEXs in each sampling site was a difference found (Statistical significance level of 0.05). In addition, the risk assessment of inhalation exposure to BTEXs has been identified. in males was 3.74×10^{-5} and in females was 4.53×10^{-5} but non-carcinogenic risk was not found except Benzene was found to be higher than the criteria standard value. Therefore, there should be appropriate prevention and surveillance guidelines to manage municipal solid waste safely and efficiently and achieve sustainability.

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

บทนำ

สถานการณ์ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ขยะมูลฝอยชุมชนยังคงเป็นปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ซึ่งทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่องในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย จากรายงานสถานการณ์ปัญหาขยะมูลฝอยของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2565 พบปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น 25.70 ล้านตัน และมีสถานที่ในการกำจัดขยะมูลฝอยทั่วประเทศ 2074 แห่ง โดยแบ่งออกเป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกต้อง 111 แห่ง (ร้อยละ 5.35) และสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล 1963 แห่ง (ร้อยละ 94.64) [1] กระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลนั้น อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารมลพิษจากบริเวณแหล่งกำเนิดแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ ดิน และแหล่งน้ำ ซึ่งประเทศไทยส่วนใหญ่มีรูปแบบการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง (Open Dumping) มากถึง 1767 แห่ง (ร้อยละ 90) ซึ่งถือเป็นหนึ่งวิธีในการกำจัดขยะมูลฝอยที่ได้รับความสนใจและมีความนิยม เนื่องจากสามารถดำเนินการได้ง่าย ต้นทุนต่ำ รองรับขยะมูลฝอยชุมชนในปริมาณมากและกำจัดขยะมูลฝอยได้หลากหลายรูปแบบอย่างไรก็ตาม ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการกำจัดขยะแบบเทกอง ส่งผลกระทบทำให้สิ่งแวดล้อมเกิดความเสื่อมโทรมเป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค อาจเกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน รวมทั้งเกิดการปลดปล่อยแก๊สที่เป็นอันตรายและแก๊สที่สามารถระเหยง่ายในบรรยากาศปกติ [2]

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มแอลกอฮอล์ คีโตน เมอร์แคปเทน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบกลุ่มฮาโลเจน สารประกอบอะโรเมติกส์ และสารประกอบพีเทค ซึ่งเป็น

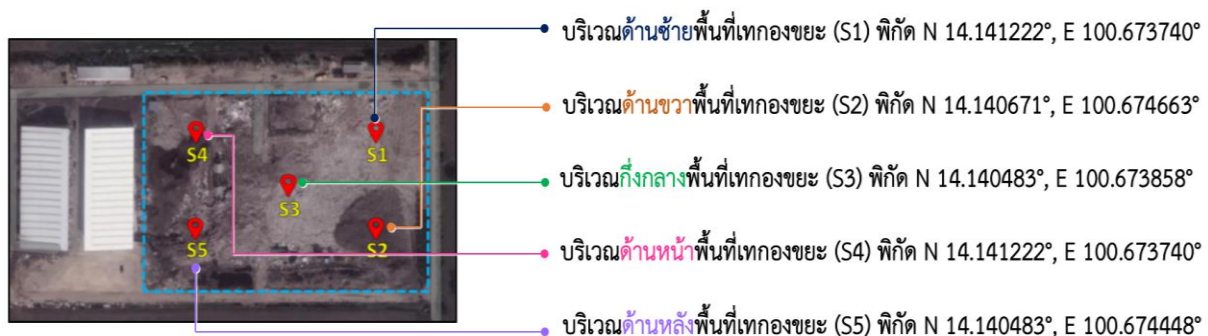
แก๊สที่เกิดขึ้นได้จากกระบวนการทางธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ สามารถระเหยได้ง่ายภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 1-2 ของแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกอง จากปัญหาการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกวิธีที่มีเพิ่มมากขึ้น ถือเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของ VOCs คือ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศถึงร้อยละ 33 อันมาจากการเทกองขยะที่ไม่มีการควบคุมที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล และการเผาขยะกลางแจ้ง นอกจากนี้เมื่อ VOCs เกิดการปลดปล่อยและปนเปื้อนแขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศ อาจเป็นสาเหตุหลักใน การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล (Photochemical Reaction) ในการจับกลุ่มหรือรวมตัวกับออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สามารถเกิดเป็นละอองลอยทุติยภูมิ (Secondary Organic Aerosol: SOA) และโอโซนที่ระดับใกล้ผิวดิน ซึ่งเป็นอันตรายและส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งชนิดเฉียบพลัน เช่น ระคายเคืองต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ ส่งผลต่อความผิดปกติของฮอร์โมน หากได้รับในปริมาณมาก และเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดเป็นระยะเวลานาน สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพชนิดเรื้อรังก่อให้เกิดความผิดปกติในระบบต่าง ๆ และเกิดความผิดปกติของสารพันธุกรรม ซึ่งเป็นผลมาจากสารชนิดไม่ก่อมะเร็งอีกทั้งยังส่งผลต่อการเกิดมะเร็งอีกด้วย [3-5] อย่างไรก็ตามกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็งที่สำคัญกลุ่มหนึ่ง คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มบีเทค จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้สัมผัส

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของปัญหามลพิษจากการจัดการขยะมูลฝอยที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อน VOCs ในบรรยากาศ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน และประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสารบีเทค ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน และสไตรีน ผ่านเส้นทางการสัมผัสผ่านการหายใจ ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือกพื้นที่จังหวัดปทุมธานี เนื่องจากประสบปัญหาเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยและปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์บ่อยครั้ง [6] อีกทั้งประชาชนในพื้นที่มีความกังวลเกี่ยวกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจและใช้เป็นนโยบาย แผนหรือกลยุทธ์ ในการหาแนวทางป้องกันเพื่อลดการเกิดปัญหามลพิษด้านอากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน เพื่อให้สามารถจัดการขยะมูลฝอยชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความยั่งยืน และลดผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับคนงานในพื้นที่และประชาชนที่อาศัยใกล้กับบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบ VOCs ที่ปลดปล่อยมาจากกระบวนการกำจัดขยะขั้นสุดท้ายสู่ชั้นบรรยากาศ ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 220 ไร่ หรือ 0.352 ตารางกิโลเมตร สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยปัจจุบันรับกำจัดขยะจาก 10 องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น ในจังหวัดปทุมธานี ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยวันละ 500-1000 ตันต่อวัน สามารถรองรับปริมาณขยะมูลฝอยในจังหวัดปทุมธานี และพื้นที่ใกล้เคียงมากกว่าร้อยละ 70 โดยจุดเก็บตัวอย่าง (Sampling Point: S) แบ่งออกเป็น 5 บริเวณ ได้แก่ S1-S5 ซึ่งเป็นตัวแทนบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้งทั้งหมด พิกัดและบริเวณพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 1

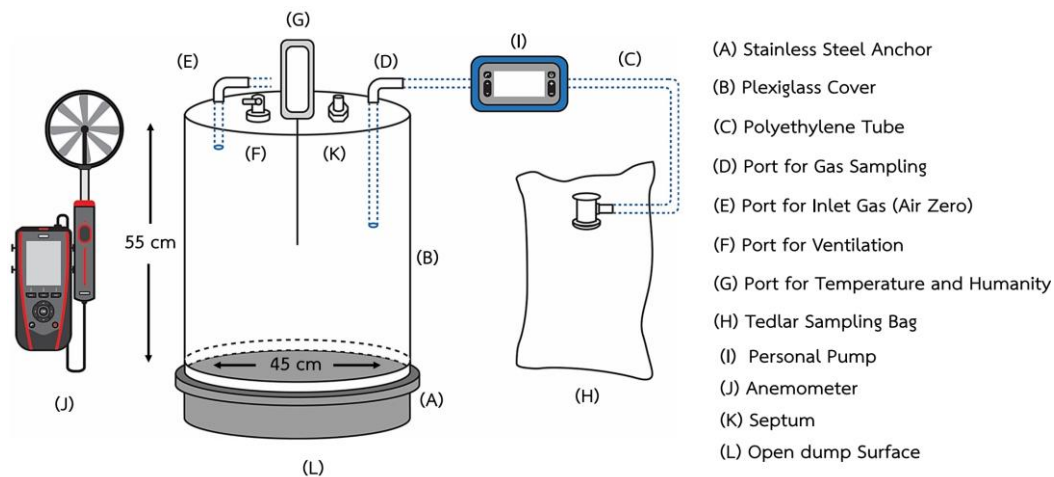


ภาพที่ 1 พิกัดและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับ VOCs (S1-S5) บริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง



วิธีดำเนินการ

1. เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้อุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์แชมเบอร์ชนิดติดอยู่กับที่ (Static Flux Chamber) ดังภาพที่ 2 ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินการปล่อยสารมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ ใช้วัดอัตราการปลดปล่อยแก๊สที่พื้นผิวของกองขยะที่มีและไม่มีดินกลบคลุม ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบฟลักซ์แชมเบอร์เก็บตัวอย่างสารมลพิษที่ปล่อยปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศด้วยถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Sampling Bag) ทำจากวัสดุชนิดเทดลาร์ (Tedlar) ทางเข้าของอากาศมีวาล์วเปิด-ปิด ต่อกับปั๊มสำหรับดูดตัวอย่างอากาศ เป็นการเก็บตัวอย่างตามวิธีของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US EPA) Method 0040 [7] สามารถใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศได้หลายชนิด เพื่อนำส่งไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงในห้องปฏิบัติการต่อไป



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ (Flux Chamber) และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง VOCs
ดัดแปลงจาก Chiemchaisri et al. [8] และศิวพันธุ์ ชูอินทร์ [9]

การเก็บตัวอย่าง VOCs เป็นการเก็บตัวอย่างแบบครั้งคราว (Spot Sampling) ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างครั้งละ 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Surface Emission Isolation Fluxes Chamber ดังภาพที่ 3 เป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจวัด VOCs ที่ระเหยออกมาจากแหล่งกำเนิดแบบอยู่กับที่ โดยจะปิดคลุมในส่วนที่ทราบขนาดที่แน่นอน จากนั้นปล่อยให้แก๊สจากพื้นผิวของบริเวณเทกองขยะสะสมภายในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ และดึงตัวอย่างอากาศด้วยปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ โดยมีหลักการคือใช้อุปกรณ์ชุดครอบหุ้มล้อมรอบบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ต้องการใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่แหล่งกำเนิดมลพิษ ทำการควบคุมอัตราการไหล โดยการเติมแก๊สสะอาด (Air Zero) ที่มีแรงดันและความบริสุทธิ์สูงเข้าไปในชุดครอบ เพื่อให้เกิดการผสมกันภายใน แล้วจึงระบายออกทางช่องที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นวาล์วทั้งหมดจะถูกปิดเพื่อให้แก๊สสะสมอยู่ในอุปกรณ์ครอบวัดฟลักซ์ ค่าความเข้มข้นของแก๊สมลพิษที่ได้ จะวัดได้จากช่องทางระบายที่เหมาะสม ตัวอย่างชุดทดสอบแบบฟลักซ์แชมเบอร์ ติดตั้งปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับถุงเก็บตัวอย่างอากาศ ขนาด 10 ลิตร ทำการเก็บตัวอย่าง VOCs โดยปั๊มสุญญากาศมีอัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่ออนาที โดยเก็บในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง ในช่วงเวลาเดียวกัน ได้แก่ 07.00-09.00 น. และ 12.00-14.00 น. ร่วมกับวัดปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ การไหลของอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และความดันในบรรยากาศ ด้วยอุปกรณ์วัดอากาศชนิดมัลติฟังก์ชัน ยี่ห้อ Kimo รุ่น AMI 310 Multifunction Instrument Measures (ประเทศฝรั่งเศส) จากนั้นเก็บตัวอย่างอากาศลงในวัสดุทึบแสง เพื่อป้องกันตัวอย่างอากาศทำปฏิกิริยากับแสงและความร้อน



ภาพที่ 3 การเก็บตัวอย่าง VOCs ด้วยวิธี Surface Emission Isolation Fluxes Chamber

2. นำตัวอย่างอากาศส่งไปยังห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ภายใน 48 ชั่วโมง ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GCMS-QP2020 (ประเทศญี่ปุ่น) ในโหมดการวิเคราะห์แบบ Scan Mode โดยเลือกใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดมวลต่อประจุ (m/z) ของตัวอย่างอากาศ ซึ่งเป็นสาร Unknown โดยเปรียบเทียบความเหมือนและความคล้ายคลึง (Match and Similarity) สารที่ทำการวิเคราะห์กับสเปกตรัมที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของ National Institute of Standards and Technology (NIST) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณ VOCs ด้วย Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) ยี่ห้อ Chromatotec รุ่น A24022 (ประเทศฝรั่งเศส) เพื่อวิเคราะห์สาร VOCs ช่วงการวิเคราะห์คาร์บอนต่ำ (C_2-C_6) และคาร์บอนสูง (C_6-C_{12}) ด้วยเทคนิคการแตกตัวเป็นไอออนของเปลวไฟ (Flame Ionization Detector หรือ FID) จึงเป็นเครื่องมือมีความเฉพาะเจาะจง ในการตรวจวัดปริมาณ VOCs ที่มีปริมาณต่ำได้อย่างน่าเชื่อถือและแม่นยำ ตามมาตรฐานการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศของ US EPA

3. ประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส VOCs ในบรรยากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (หมายเลขรับรอง SWUEC/G-439/2565X)

1) การคำนวณปริมาณสารพิษที่ได้จากการหายใจของมนุษย์ที่ประกอบอาชีพหรืออาศัยอยู่ใกล้กับบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แสดงการคำนวณอัตราการรับสัมผัส VOCs ผ่านการหายใจ [10] ดังสมการ (1)

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

เมื่อ	$CDI_{inhalation}$	คือ ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส (ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน)
	C	คือ ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	IR	คือ อัตราการหายใจระหว่างทำกิจกรรมต่าง ๆ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)
	ET	คือ ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)
	EF	คือ ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)
	ED	คือ ระยะเวลาการรับสัมผัส (ปี)
	BW	คือ น้ำหนักร่างกายของผู้รับสัมผัสสาร (กิโลกรัม)
	AT	คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสัมผัสสาร (วัน)

2) การประเมินการรับสัมผัสและการตอบสนองของสารในกลุ่มเบนซีน เนื่องจากสารกลุ่มนี้ได้มีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย และสามารถแพร่กระจายอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้แหล่งกำเนิด ทั้งในเขตโรงงานอุตสาหกรรม และชุมชน โดยพิจารณาความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Risk) ซึ่งองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ



(International Agency for Research on Cancer: IARC) ยืนยันว่าสารกลุ่มเบนซิน เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่มที่ 1A คือ มีหลักฐานยืนยันชัดเจน การก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง คำนวณความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง แสดงดังสมการ (2)

$$R = CDI \times SF \quad (2)$$

เมื่อ	R	คือ ความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer Risk)
	CDI	คือ ความเข้มข้นของสารในบรรยากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	SF	คือ Slope Factor สำหรับเบนซินมีค่า 0.055 (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)
		ตามค่าอ้างอิงจาก US EPA [11]

3) การประเมินความเสี่ยงสารมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer Risk) ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน ไซลีน และสไตรีน แตกต่างจากชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็ง โดย US EPA แนะนำให้ใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณอ้างอิง (Reference Concentration: R_fC) จากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ) เป็นค่าประมาณที่ได้จากการรับสัมผัสสารมลพิษในทุก ๆ วัน ของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในเกิดมะเร็ง [11-13] แสดงดังสมการ (3)

$$HQ = \frac{CDI}{R_fC} \quad (3)$$

เมื่อ	HQ	คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง
	CDI	คือ ปริมาณ VOCs เข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน)
	R_fC	คือ ค่ามาตรฐานกำหนด (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน)
		การอธิบายลักษณะความเสี่ยง พิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการรับสัมผัส [12] สามารถแบ่งเป็น 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

4. วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณสารที่ได้รับสัมผัส ค่าความเสี่ยงที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง และค่าสัดส่วนความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก อีกทั้งใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิดและในแต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างด้วย One-way ANOVA, Post Hoc Multiple Comparison-LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย

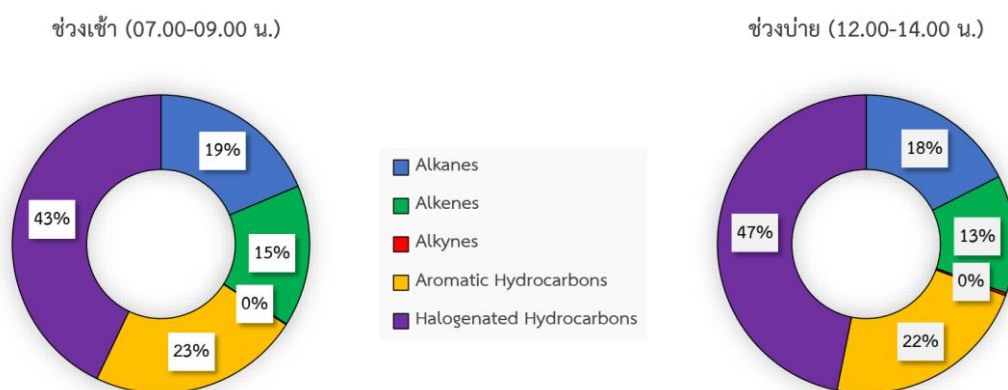
ตอนที่ 1 การศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาทั่วไปบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และความกดอากาศ ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง 5 บริเวณ (S1-S5) ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนมกราคม 2566 โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) เก็บตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าในช่วงเช้า มีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.70 ± 0.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์มีค่าเฉลี่ย 35.30 ± 0.32 องศาเซลเซียส ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย 2.42 ± 0.34 เมตรต่อวินาที ซึ่งพบว่าความเร็วลมค่อนข้างคงที่และมีลมพัดตลอดเวลาระหว่างการเก็บตัวอย่าง ความชื้นในบรรยากาศร้อยละ 73.60 % และความกดอากาศในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง

5 ตำแหน่ง มีค่าเท่ากันคือ 1005 มิลลิบาร์ และช่วงบ่าย จากการตรวจวัดพบอุณหภูมิในทุกจุดสูงกว่าในช่วงเช้า โดยมีค่าเฉลี่ย 41.16 ± 1.77 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในอุปกรณ์ครอบปลั๊กซ์มีค่าเฉลี่ย 50.90 ± 0.49 องศาเซลเซียส ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ย 0.90 ± 0.38 เมตร/วินาที ซึ่งพบว่าความเร็วลมต่ำ อากาศนิ่ง ความชื้นในบรรยากาศร้อยละ 36.80 และความกดอากาศมีค่าเฉลี่ย 1008.20 ± 0.44 มิลลิบาร์

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ

ผลการศึกษา VOCs ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้งทั้ง 5 บริเวณ จำแนกกลุ่มตามโครงสร้างออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ แอลเคน (Alkanes) แอลคีน (Alkenes) แอลไคน์ (Alkynes) อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) และฮาโลจิเนตเตด ไฮโดรคาร์บอน (Halogenated Hydrocarbons) โดยสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยที่พบในช่วงเช้าคิดเป็นร้อยละ 19, 15, 0, 23 และ 43 ตามลำดับ และช่วงบ่ายคิดเป็นร้อยละ 18, 13, 0, 22 และ 47 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4



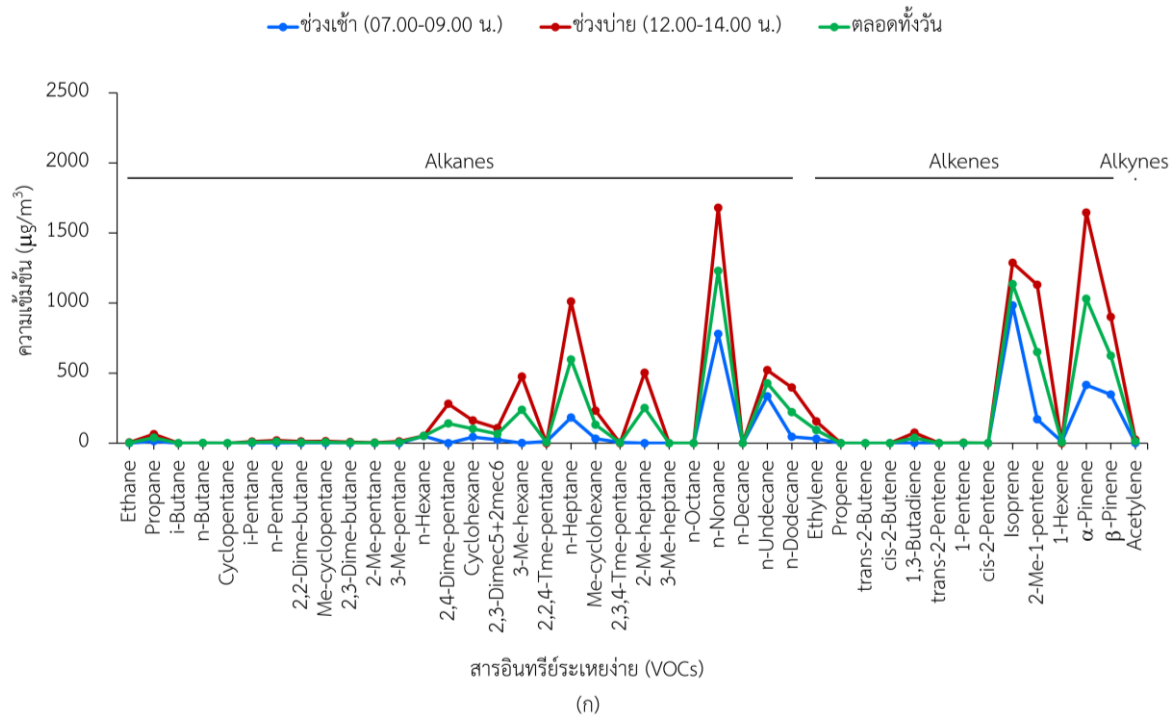
ภาพที่ 4 สัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs 5 กลุ่ม ได้แก่ แอลเคน (Alkanes) แอลคีน (Alkenes) แอลไคน์ (Alkynes) อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) และฮาโลจิเนตเตด ไฮโดรคาร์บอน (Halogenated Hydrocarbons) ทั้งช่วงเช้าและช่วงบ่าย ในบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ผลการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs แต่ละชนิด จากจุดเก็บตัวอย่าง 5 บริเวณ (S1-S5) โดยการใช้การเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) ซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่า บริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 5 บริเวณ มีความเข้มข้นของสาร VOCs แต่ละชนิดในช่วงเช้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของสาร VOCs แต่ละชนิดในช่วงบ่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ดังนั้นผู้วิจัยจึงรายงานเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมทั้ง 5 บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนทั้งหมดของสาร VOCs ที่เกิดขึ้นจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แสดงดังภาพที่ 5

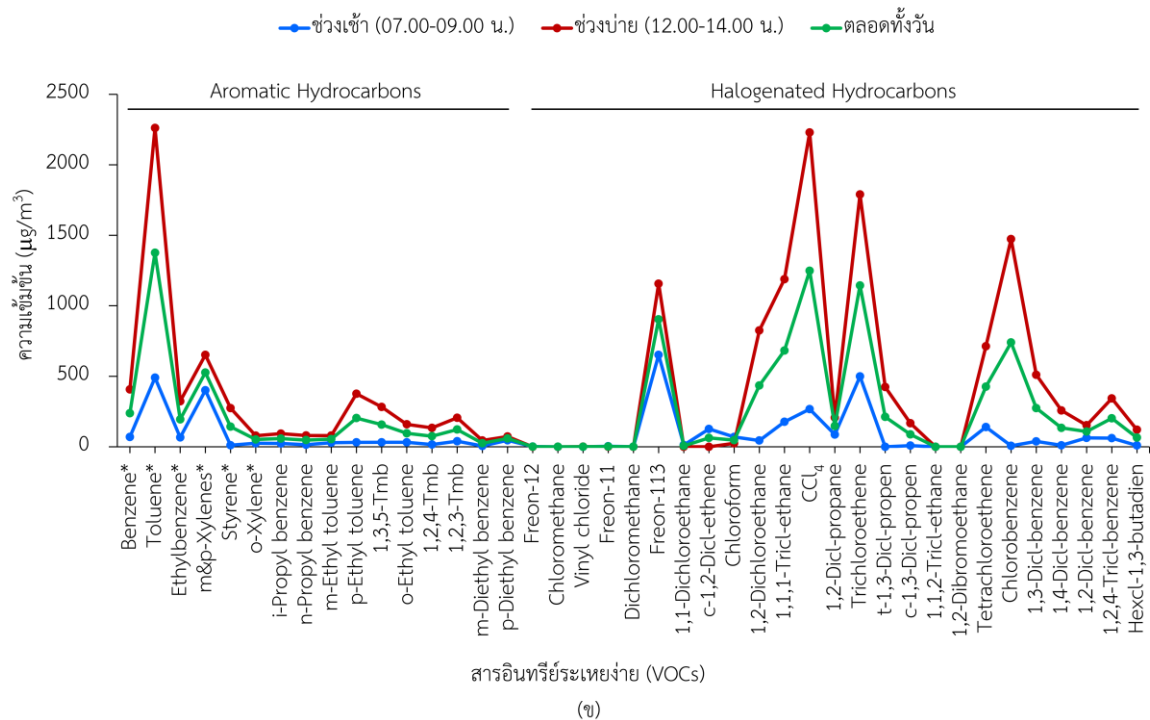
เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs ทั้ง 83 ชนิด โดยเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา คือ การเก็บตัวอย่างในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) จากการตรวจวัดพบว่ามี VOCs บางชนิดที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ 3-เมทิลเฮปเทน (3-Me-heptane), เอน-ออกเทน (n-Octane), เอน-เดเคน (n-Decane), 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane) และ 1,2-ไดโบรมออีเทน (1,2-Dibromoethane)



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



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



ภาพที่ 5 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของ VOCs ทุกบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง (S1-S5) ในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.)

ช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) และตลอดทั้งวัน จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

(ก) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม Alkanes Alkenes และ Alkynes (ข) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในกลุ่ม

Aromatic Hydrocarbons และ Halogenated Hydrocarbons



เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร VOCs ทั้ง 83 ชนิด ระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร VOCs ชนิดเดียวกันระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่าย มีค่าแตกต่างกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นเฉลี่ยรวมสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้ง 83 ชนิด จากจุดเก็บตัวอย่าง 5 บริเวณ (S1-S5) ในสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี แบ่งเป็น ช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) ช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) และตลอดทั้งวัน

ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
Alkanes						
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	1010.78±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	1679.63±114.63	1229.72±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	1537.43±650.27	5576.33±1434.25	3556.88±2122.96	-	-
Alkenes						
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



ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
33	1,3-Butadiene	1.98 $\pm$ 0.46	74.74 $\pm$ 6.05	38.36 $\pm$ 35.95	0.000	แตกต่างกัน
34	trans-2-Pentene	0.10 $\pm$ 0.21	0.88 $\pm$ 0.77	0.49 $\pm$ 0.68	0.001	แตกต่างกัน
35	1-Pentene	0.21 $\pm$ 0.01	3.36 $\pm$ 4.93	1.78 $\pm$ 3.78	0.020	แตกต่างกัน
36	cis-2-Pentene	0.53 $\pm$ 0.16	0.29 $\pm$ 0.13	0.41 $\pm$ 0.13	0.579	ไม่แตกต่างกัน
37	Isoprene	983.29 $\pm$ 396.81	1287.15 $\pm$ 331.78	1135.22 $\pm$ 449.81	0.479	ไม่แตกต่างกัน
38	2-Me-1-pentene	170.24 $\pm$ 42.31	1130.22 $\pm$ 123.85	650.23 $\pm$ 464.44	0.004	แตกต่างกัน
39	1-Hexene	11.79 $\pm$ 0.62	ND	5.89 $\pm$ 4.26	0.000	แตกต่างกัน
40	α -Pinene	415.41 $\pm$ 55.26	1645.75 $\pm$ 77.45	1030.58 $\pm$ 669.11	0.006	แตกต่างกัน
41	β -Pinene	346.98 $\pm$ 85.94	901.36 $\pm$ 39.44	624.17 $\pm$ 304.48	0.016	แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1961.81 $\pm$ 605.76	5200.41 $\pm$ 601.73	3581.04 $\pm$ 1995.33	-	-
Alkynes						
42	Acetylene	1.18 $\pm$ 1.17	25.01 $\pm$ 0.53	13.11 $\pm$ 12.66	0.002	แตกต่างกัน
Aromatic Hydrocarbons						
43	Benzene*	69.67 $\pm$ 48.69	406.83 $\pm$ 28.08	238.25 $\pm$ 175.31	0.000	แตกต่างกัน
44	Toluene*	490.69 $\pm$ 29.67	2261.77 $\pm$ 318.82	1376.23 $\pm$ 1219.09	0.000	แตกต่างกัน
45	Ethylbenzene*	66.45 $\pm$ 5.49	322.93 $\pm$ 59.76	194.69 $\pm$ 189.65	0.013	แตกต่างกัน
46	m&p-Xylenes*	400.90 $\pm$ 6.75	652.12 $\pm$ 19.88	526.51 $\pm$ 98.49	0.020	แตกต่างกัน
47	Styrene*	11.33 $\pm$ 2.07	274.41 $\pm$ 3.15	142.87 $\pm$ 131.28	0.000	แตกต่างกัน
48	o-Xylene*	25.31 $\pm$ 6.12	78.87 $\pm$ 58.70	52.09 $\pm$ 2.66	0.016	แตกต่างกัน
49	i-Propyl benzene	23.47 $\pm$ 25.41	93.30 $\pm$ 85.82	58.38 $\pm$ 71.61	0.005	แตกต่างกัน
50	n-Propyl benzene	14.85 $\pm$ 5.05	80.07 $\pm$ 7.78	47.46 $\pm$ 71.57	0.010	แตกต่างกัน
51	m-Ethyl toluene	29.14 $\pm$ 5.42	79.47 $\pm$ 9.88	54.30 $\pm$ 46.85	0.020	แตกต่างกัน
52	p-Ethyl toluene	31.51 $\pm$ 9.95	376.38 $\pm$ 61.65	203.95 $\pm$ 204.98	0.000	แตกต่างกัน
53	1,3,5-Tmb	32.01 $\pm$ 33.22	282.95 $\pm$ 212.42	157.48 $\pm$ 96.47	0.000	แตกต่างกัน
54	o-Ethyl toluene	31.92 $\pm$ 50.32	159.46 $\pm$ 133.77	95.69 $\pm$ 18.61	0.002	แตกต่างกัน
55	1,2,4-Tmb	16.34 $\pm$ 30.86	134.38 $\pm$ 147.63	75.36 $\pm$ 20.77	0.005	แตกต่างกัน
56	1,2,3-Tmb	39.57 $\pm$ 38.35	206.02 $\pm$ 154.09	122.79 $\pm$ 139.06	0.000	แตกต่างกัน
57	m-Diethyl benzene	5.86 $\pm$ 0.94	44.96 $\pm$ 0.89	25.41 $\pm$ 18.74	0.005	แตกต่างกัน
58	p-Diethyl benzene	46.14 $\pm$ 38.93	73.02 $\pm$ 49.23	59.58 $\pm$ 45.70	0.108	ไม่แตกต่างกัน
	รวมทั้งสิ้น	1335.16 $\pm$ 337.24	5526.94 $\pm$ 1351.55	3431.04 $\pm$ 2550.84	-	-
Halogenated Hydrocarbons						
59	Freon-12	0.82 $\pm$ 0.77	ND	0.91 $\pm$ 4.79	0.306	ไม่แตกต่างกัน
60	Chloromethane	0.07 $\pm$ 0.17	0.01 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.16	0.202	ไม่แตกต่างกัน
61	Vinyl chloride	0.09 $\pm$ 0.25	1.21 $\pm$ 0.86	0.65 $\pm$ 0.84	0.200	ไม่แตกต่างกัน
62	Freon-11	3.80 $\pm$ 8.95	0.14 $\pm$ 0.56	1.97 $\pm$ 6.50	0.126	ไม่แตกต่างกัน
63	Dichloromethane	0.87 $\pm$ 1.81	ND	0.43 $\pm$ 1.33	0.278	ไม่แตกต่างกัน
64	Freon-113	651.70 $\pm$ 549.05	1156.86 $\pm$ 108.19	904.28 $\pm$ 151.95	0.002	แตกต่างกัน
65	1,1-Dichloroethane	12.67 $\pm$ 4.18	ND	6.33 $\pm$ 5.33	0.000	แตกต่างกัน
66	c-1,2-Dicl-ethene	126.73 $\pm$ 3.31	ND	63.36 $\pm$ 58.97	0.000	แตกต่างกัน
67	Chloroform	69.81 $\pm$ 30.38	24.83 $\pm$ 8.05	47.32 $\pm$ 19.75	0.312	ไม่แตกต่างกัน
68	1,2-Dichloroethane	44.69 $\pm$ 4.99	825.31 $\pm$ 81.77	435.00 $\pm$ 419.83	0.002	แตกต่างกัน



ลำดับ	VOCs	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\bar{X} \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Sig.	แปลผล
		ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ตลอดทั้งวัน		
69	1,1,1-Tricloroethane	177.27 $\pm$ 33.02	1188.76 $\pm$ 174.47	683.02 $\pm$ 632.33	0.002	แตกต่างกัน
70	CCl ₄	267.32 $\pm$ 59.80	2229.49 $\pm$ 40.10	1248.40 $\pm$ 825.41	0.000	แตกต่างกัน
71	1,2-Dicloropropane	86.97 $\pm$ 53.25	206.76 $\pm$ 85.77	146.87 $\pm$ 108.07	0.064	ไม่แตกต่างกัน
72	Trichloroethene	499.31 $\pm$ 77.16	1789.95 $\pm$ 1059.07	1144.63 $\pm$ 913.63	0.001	แตกต่างกัน
73	t-1,3-Dicloropropen	ND	424.32 $\pm$ 68.22	212.16 $\pm$ 194.69	0.000	แตกต่างกัน
74	c-1,3-Dicloropropen	8.41 $\pm$ 1.76	167.55 $\pm$ 170.64	87.98 $\pm$ 145.23	0.001	แตกต่างกัน
75	1,1,2-Tricloroethane	ND	ND	ND	-	-
76	1,2-Dibromoethane	ND	ND	ND	-	-
77	Tetrachloroethene	140.06 $\pm$ 136.56	712.98 $\pm$ 655.48	426.52 $\pm$ 548.92	0.003	แตกต่างกัน
78	Chlorobenzene	6.90 $\pm$ 0.07	1473.25 $\pm$ 3.85	740.08 $\pm$ 652.48	0.002	แตกต่างกัน
79	1,3-Diclorobenzene	38.25 $\pm$ 17.64	510.82 $\pm$ 372.61	274.54 $\pm$ 266.36	0.000	แตกต่างกัน
80	1,4-Diclorobenzene	10.65 $\pm$ 6.73	258.00 $\pm$ 179.36	134.32 $\pm$ 107.45	0.000	แตกต่างกัน
81	1,2-Diclorobenzene	63.17 $\pm$ 48.09	152.99 $\pm$ 50.42	108.08 $\pm$ 17.83	0.053	ไม่แตกต่างกัน
82	1,2,4-Triclorobenzene	61.45 $\pm$ 6.67	343.13 $\pm$ 31.83	202.29 $\pm$ 96.77	0.005	แตกต่างกัน
83	Hexcl-1,3-butadien	9.67 $\pm$ 7.42	120.88 $\pm$ 86.62	65.27 $\pm$ 82.75	0.000	แตกต่างกัน
รวมทั้งสิ้น		2281.68 $\pm$ 1052.03	11587.24 $\pm$ 3177.89	6934.51 $\pm$ 5261.37	-	-
Σ 83 VOCs		7117.26 $\pm$ 2646.47	27915.93 $\pm$ 6565.95	17516.58 $\pm$ 11943.16	-	-

ND (Not Detected): ตรวจไม่พบสารดังกล่าว; * สารประกอบกลุ่มบีเทค (BTEXs) สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การศึกษานี้พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสาร VOCs ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย มีค่าแตกต่างกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงการแปลผลทางสถิติในตารางที่ 1 โดยชนิดของสาร VOCs ที่ปลดปล่อยออกมามาก จากสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง เป็นผลมาจากการไม่คัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทางและกลางทางในการนำขยะกลับไปใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดการสะสมของขยะประเภทต่าง ๆ ในสถานที่กำจัดขยะ ถือเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการปลดปล่อยสาร VOCs ชนิดต่าง ๆ นอกจากนั้นความเข้มข้นของ VOCs แต่ละชนิดส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการปลดปล่อยสาร VOCs เมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ขยะมูลฝอยในกองขยะสามารถทำปฏิกิริยากับความร้อนและแสงแดด ทำให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอสู่ชั้นบรรยากาศของสาร VOCs ได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ VOCs 10 อันดับแรก ในช่วงเช้า ได้แก่ ไอโซพรีน (Isoprene) รองลงมาคือ เอน-โนเนน (n-Nonane) ฟรีออน-113 (Freon-113) ไตรคลอโรเอทีลีน (Trichloroethene) โทลูอิน (Toluene) แอลฟาไพเนน (α -Pinene) เมตาและพารา-ไซลีน (m&p-Xylenes) บีตาไพเนน (β -Pinene) เอน-อันเดเคน (n-Undecane) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) (983.29 $\pm$ 396.81, 779.81 $\pm$ 92.04, 651.70 $\pm$ 549.05, 499.31 $\pm$ 77.16, 490.69 $\pm$ 29.67, 415.41 $\pm$ 55.26, 400.90 $\pm$ 6.75, 346.98 $\pm$ 85.94, 334.24 $\pm$ 306.43 และ 267.32 $\pm$ 59.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) และช่วงบ่าย ได้แก่ โทลูอิน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ไตรคลอโรเอทีลีน เอน-โนเนน แอลฟาไพเนน คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene) ไอโซพรีน 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Tricloroethane) ฟรีออน-113 และ 2-เมทิล-1-เพนเทน (2-me-1-Pentene) (2261.77 $\pm$ 318.82, 2229.49 $\pm$ 40.10, 1789.95 $\pm$ 1059.07, 1679.63 $\pm$ 114.63, 1645.75 $\pm$ 77.45, 1473.25 $\pm$ 3.85, 1287.15 $\pm$ 331.78, 1188.76 $\pm$ 174.47, 1156.86 $\pm$ 108.19 และ 1130.22 $\pm$ 123.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ซึ่งสาร VOCs ข้างต้น มีความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงบ่ายมากกว่าช่วงเช้าทุกชนิด จึงแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในด้านของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถส่งผลต่อการปลดปล่อยสาร VOCs ส่วนใหญ่ได้

นอกจากนี้ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดทั้งวัน 5 อันดับแรก ที่ตรวจวัดได้จากบริเวณเทกองขยะกลางแจ้ง (S1-S5) เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ โทลูอิน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอน-โนเนน ไตรคลอโรเอทีลีน และไอโซพรีน



(1376.23±1219.09, 1248.40±825.41, 1229.72±424.29, 1144.63±913.63 และ 1135.22±449.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ)

อีกทั้งพบความเข้มข้นของสารกลุ่มปิเทคในแต่ละบริเวณที่เก็บตัวอย่างทุกชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยของโพลูอินมากที่สุด รองลงมาคือ เมตาและพารา-ไซลีน เบนซีน เอทิลเบนซีน สไตรีน ออร์โธ-ไซลีน ตามลำดับ ปริมาณของสารแต่ละชนิดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั้น เป็นผลมาจากองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในบริเวณเก็บตัวอย่างที่เป็นแหล่งปลดปล่อยสาร VOCs โดยพบขยะอินทรีย์ พลาสติก ยาง หนัง และกระป๋องใส่สีจำนวนมาก ถือเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารโพลูอินและไซลีน จึงทำให้ตรวจพบความเข้มข้นมาก ส่วนสารเบนซีน และเอทิลเบนซีน ที่พบความเข้มข้นน้อยกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้ส่วนใหญ่พบในการเผาไหม้จากธรรมชาติและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจปนเปื้อนมากับขยะได้น้อย จึงทำให้พบความเข้มข้นของสารเบนซีนและเอทิลเบนซีนน้อยกว่าสารโพลูอิน เช่นเดียวกับสารสไตรีนที่พบความเข้มข้นน้อย เนื่องจากสารสไตรีนใช้เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และพบในขยะแผงวงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นขยะมูลฝอยที่พบจำนวนน้อยมากในบริเวณเก็บตัวอย่าง

การเปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐาน VOCs กับค่าเฉลี่ยที่ตรวจพบ VOCs ในบรรยากาศจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน VOCs ในบรรยากาศในเวลา 1 ปี และ 24 ชั่วโมง [14] ยกเว้น เบนซีน 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรเอทิลีน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เตตระคลอโรเอทิลีน และ 1,3-บิวทาไดอิน พบค่าเกินมาตรฐานกำหนด จึงต้องมีมาตรการควบคุมและการป้องกัน เพื่อไม่ให้สารมลพิษดังกล่าวสะสมในบรรยากาศจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบ VOCs ในบรรยากาศ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจพบ VOCs ในบรรยากาศ

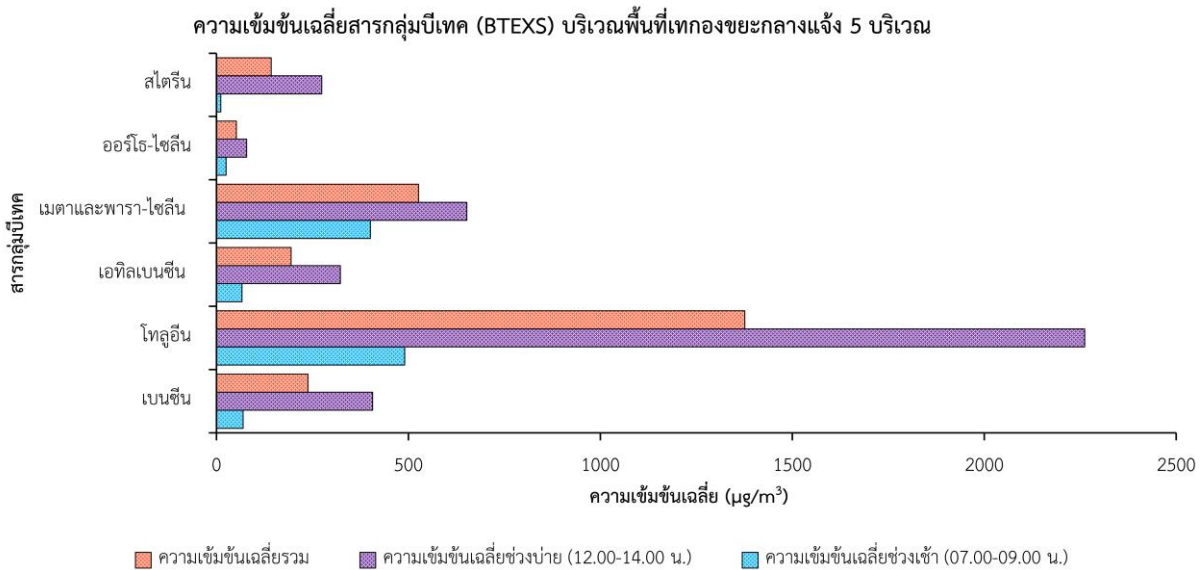
ลำดับ	ชนิดของ VOCs	ค่ามาตรฐานของสาร VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ค่าเฉลี่ยที่ตรวจพบ $X \pm SD$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	แปลผล (ในเวลา 24 ชั่วโมง)
		ในเวลา 1 ปี ⁽¹⁾	ในเวลา 24 ชั่วโมง ⁽²⁾		
1	เบนซีน	ไม่เกิน 1.7	ไม่เกิน 7.6	238.25±175.31	เกินค่ามาตรฐาน
2	1,2-ไดคลอโรอีเทน	ไม่เกิน 0.4	ไม่เกิน 48	435.00±419.83	เกินค่ามาตรฐาน
3	ไตรคลอโรเอทิลีน	ไม่เกิน 23	ไม่เกิน 130	1144.63±913.63	เกินค่ามาตรฐาน
4	1,2-ไดคลอโรโพรเพน	ไม่เกิน 4	ไม่เกิน 82	146.87±108.07	เกินค่ามาตรฐาน
5	เตตระคลอโรเอทิลีน	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 400	426.52±548.92	เกินค่ามาตรฐาน
6	1,3-บิวทาไดอิน	ไม่เกิน 0.33	ไม่เกิน 5.7	38.36±35.95	เกินค่ามาตรฐาน

(1) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ. 2550 เรื่องกำหนดมาตรฐานค่า VOCs ในบรรยากาศในเวลา 1 ปี [15];

(2) ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง [16]

ตอนที่ 3 การประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสารปิเทค (BTEXs) ผ่านเส้นทางการสัมผัสผ่านการหายใจ

ความเข้มข้นของสารประกอบกลุ่มปิเทค ได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) เมตาและพารา-ไซลีน (m&p-Xylenes) ออร์โธ-ไซลีน (o-Xylene) และสไตรีน (Styrene) สามารถปลดปล่อยได้จากขยะประเภทพลาสติก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน สารเคมีที่ปนเปื้อนมากับขยะที่ย่อยสลายได้ อีกทั้งปลดปล่อยได้จากเครื่องจักรกลและเครื่องยนต์ทั้งประเภทเบนซีนและดีเซล อาทิ รถยนต์และรถจักรยานยนต์ รถบรรทุก เก็บขนขยะ รถบดอัดขยะ เครื่องจักรร่อนขยะสำหรับการแปรรูปเป็นพลังงาน และเครื่องคัดแยกขยะด้วยสายพาน หรือจากกระบวนการเผาไหม้แบบเปิดในบริเวณพื้นที่โดยรอบพื้นที่กองขยะ เป็นต้น และนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพการสัมผัสผ่านการหายใจของสารทั้งชนิดที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่เกิดมะเร็ง พบความเสี่ยงอันตรายที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสสารปิเทค เรียงลำดับความเข้มข้นเฉลี่ยจากมากไปน้อย ดังนี้ โทลูอิน เมตาและพารา-ไซลีน เบนซีน เอทิลเบนซีน สไตรีน ออร์โธ-ไซลีน ตามลำดับ (1376.23±1219.09, 526.51±98.49, 238.25±175.31, 194.69±189.65, 142.87±131.28, 52.09±2.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารกลุ่มบีเทคที่ตรวจพบบริเวณพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Assessment) ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมค่ามาตรฐานและเกณฑ์ระดับความเข้มข้นของ VOCs ในบรรยากาศแต่ละชนิด โดยพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในบรรยากาศทั่วไปของสาร VOCs ในเวลา 24 ชั่วโมง และ 1 ปี ซึ่งกำหนดภายใต้เงื่อนไข Unit Risk ที่ 10^{-6} หรือ 10^{-5} เป็นค่า Factor สำหรับกำหนดค่ามาตรฐาน ความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็งเทียบกับค่ามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการได้รับสาร VOCs และความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง

VOCs	ปริมาณที่ได้รับ (mg/m ³ ·day ⁻¹) (CDI)		ความเสี่ยงทางสุขภาพ (HQ)		ค่าที่ยอมรับได้
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง	
ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากชนิดสารก่อมะเร็ง (Cancer Risk)					
· เบนซีน	1.37x10 ⁻⁴	1.66x10 ⁻⁴	3.74x10 ⁻⁵	4.53x10 ⁻⁵	อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากชนิดสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง (Non-cancer Risk)					
· เบนซีน	6.88x10 ⁻³	8.25x10 ⁻³	1.72	2.06	มีอันตรายระดับปานกลาง
· โทลูอิน	5.0x10 ⁻²	6.02x10 ⁻²	0.62	0.75	มีอันตรายระดับต่ำ
· เอทิลเบนซีน	5.60x10 ⁻³	2.75x10 ⁻³	0.05	0.27	มีอันตรายระดับต่ำ
· เมตาและพารา-ไซลีน	1.52x10 ⁻²	6.73x10 ⁻²	0.07	0.33	มีอันตรายระดับต่ำ
· ออร์โธ-ไซลีน	1.50x10 ⁻³	1.80x10 ⁻³	0.00	0.00	ไม่มีอันตราย
· สไตรีน	4.10x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	0.00	0.00	ไม่มีอันตราย
Hazard index (HI=ΣHQ)	-		2.46	3.41	เกินค่าที่ยอมรับได้

จากตารางที่ 3 แสดงค่าปริมาณการได้รับ VOCs และความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารก่อมะเร็งและสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง พบว่าสารก่อมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน และสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน เมตาและพารา-ไซลีน ออร์โธ-ไซลีน และสไตรีน ทั้งนี้เบนซีนสามารถส่งผลกระทบต่อทั้งการก่อมะเร็งและผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง ตัวอย่างผลกระทบที่ไม่เกี่ยวข้องกับการก่อมะเร็ง เช่น อาการที่เกิดขึ้นทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง เช่น ระคายเคืองทางเดินหายใจ วิงเวียนศีรษะ และเกิดความผิดปกติที่อวัยวะต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk) ของเบนซีนในเพศชายและเพศหญิงคำนวณได้ 3.74×10^{-5} และ 4.53×10^{-5} ตามลำดับ โดยมีค่าไม่เกิน 10^{-6} ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง แม้จะพบในปริมาณน้อยแต่ควรนำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นสารประกอบหรือแก๊สที่แพร่กระจายได้ง่าย มักมีการสะสมในสิ่งแวดล้อม และสารบางชนิดตกค้างยาวนานและสลายตัวได้ยากในสภาวะปกติ รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นพิษ โดยไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่อแขวนลอยหรือสะสมในบรรยากาศในระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผลให้เกิดมลพิษทางด้านอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน หากไม่มีกระบวนการจัดการที่ถูกต้อง จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลุ่มของสาร VOCs ที่พบมาก ได้แก่ กลุ่มสารประกอบฮาโลเจนและสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน โดยสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เช่น ขยะพลาสติกที่มีปิโตรเลียมเป็นองค์ประกอบ และตัวทำละลายที่เป็นสารตั้งต้นและสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตพลาสติก รวมถึงอาจเกิดจากขยะจำพวกสเปรย์ ภาชนะที่บรรจุสีหรือน้ำมัน นอกจากนี้ความเข้มข้นเฉลี่ยในบรรยากาศของสารประกอบฮาโลเจน ในการศึกษาพบค่าสูงกว่าการศึกษาในบริเวณพื้นที่เทกองขยะ และการศึกษาบริเวณหลุมฝังกลบขยะ โดยสารประกอบฮาโลเจนในสถานที่กำจัดขยะส่วนใหญ่เกิดการปลดปล่อยจากปฏิกิริยาเคมี เช่นเดียวกับการย่อยสลายทางชีวภาพ สารประกอบคลอรีนบางชนิดสามารถถูกปลดปล่อยจากการสลายตัวของตัวทำละลายฮาโลเจนและโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) รวมถึงจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ VOCs ที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบจะรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมหรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งหรือกระตุ้นให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิตได้ VOCs ในกลุ่มสารประกอบฮาโลเจนที่มีความสำคัญและพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม คือ ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene หรือ Trichloroethene) ซึ่งองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ระบุว่าสารไตรคลอโรเอทิลีน เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองกลุ่ม 2A (Suspected Human Carcinogen) [17-19] ใช้เป็นตัวทำละลายในผลิตภัณฑ์ซักล้างในครัวเรือน โดยเฉพาะน้ำยาซักแห้ง สบู่ น้ำยาล้างสี น้ำยาละลายคราบไขมันและน้ำมัน หรืออาจเกิดการปนเปื้อนมาพิเศษอาหารหรือขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ได้ง่ายรวมถึงกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอยที่ไม่ดีเท่าที่ควร อาจขาดความระมัดระวังในการคัดแยกขยะ อาจทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการปนเปื้อนกับ VOCs ชนิดอื่น ๆ ในภาชนะหรือถุงขยะ

ผลการประเมินความเสี่ยงนี้แสดงให้เห็นว่า หากได้รับสัมผัสสารเบนซีนผ่านการหายใจตลอดอายุขัยหรือในระยะเวลาสั้นในสถานที่นั้น ๆ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (Acute Effect) ได้แก่ ระคายเคืองผิวหนังและเยื่อเมือก เกิดอาการเมื่อยล้าเวียนศีรษะ แสบจมูก อาเจียน อาการชาหรือชกเกร็ง และแบบเรื้อรัง (Chronic Effect) ได้แก่ มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดมัยอีลอยด์ (Acute Myeloid Leukemia: AML) และทำลายไขกระดูก เม็ดเลือดแดงแตก ส่งผลให้โลหิตจาง รบกวนการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง และอาจเกิดการส่งเสริมการเกิดเนื้องอกบริเวณเนื้อเยื่อปอด นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนติบอดีและการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมอีกด้วย [20] และจากการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงอันตราย (Hazard Index: HI) เป็นดัชนีความเสี่ยงอันตรายของสารชนิดที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็งพบว่าผลรวมของสารมลพิษทั้งหมดมีค่าเกินกว่า 1 แสดงถึงผู้ได้รับสารมลพิษนี้และผู้ที่เกี่ยวข้องควรพิจารณาแนวทางการป้องกันที่เข้มงวดยิ่งขึ้นต่อไป เพื่อลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพให้น้อยที่สุด

การตรวจสอบการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบรรยากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ผลการศึกษาชนิดและความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOCs ที่ตรวจพบ พบองค์ประกอบสารที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบในทุกจุดที่เก็บตัวอย่าง ทั้งในช่วงเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-14.00 น.) มากที่สุดร้อยละ 45 ซึ่งมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในการเกิดมะเร็งสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 22.5 สารประกอบแอลเคนร้อยละ 18.5 สารประกอบแอลคีนร้อยละ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ส่งผลต่อการแปรผันระดับความเข้มข้นของ VOCs โดยเฉพาะความเร็วลม และอุณหภูมิบรรยากาศ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วลมต่ำ ส่งผลให้การระเหยเป็นไอของ VOCs จากบริเวณพื้นที่กองขยะเกิดได้รวดเร็วและพบความเข้มข้นสูงขึ้น การสนับสนุนแหล่งกำเนิดหลักของ VOCs ในระหว่างการศึกษา ได้แก่

ชนิดและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ตัวทำลายลายในขยะพลาสติก รวมถึงกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยที่ก่อให้เกิดมลพิษอากาศ ได้แก่ การขนถ่าย การบดอัดที่ก่อให้เกิดการฉีกขาดของถุงขยะ อีกทั้งในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้น สามารถส่งผลให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้มากขึ้นตามไปด้วย

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัส VOCs กลุ่มบีเทค ประกอบด้วย โทลูอิน เอทิลเบนซีน เมตาและพารา-ไซลีน ออร์โธ-ไซลีน และสไตรีน สอดคล้องกับ Khademi [21] ที่พบปริมาณสารโพลีไซลีน ไซลีน เบนซีน และเอทิลเบนซีน ปลดปล่อยจากบริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับต่ำและไม่มีความเสี่ยง ยกเว้นเบนซีน ที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพในระดับปานกลาง ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพที่พบในเพศชายและเพศหญิงคือ 2.46 และ 3.41 ตามลำดับ ซึ่งมีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอยู่ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม VOCs ในบรรยากาศที่ตรวจพบในพื้นที่ ไม่ส่งผลกระทบต่อเพียงคนงานในบริเวณพื้นที่เทกองขยะ แต่ยังสามารถส่งผลกระทบต่อความกังวลด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของประชาชนโดยรอบ ทั้งชุมชนหรือพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้นทุกภาคส่วนควรตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัส VOCs จากกระบวนการกำจัดขยะ และหาแนวทางป้องกันหรือวิธีการกำจัดที่เหมาะสม เพื่อลดการเกิดปัญหามลพิษด้านอากาศ จากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนในระยะยาว

จึงเห็นได้ว่าสาร VOCs ในบรรยากาศที่ถูกปลดปล่อยจากกระบวนการกำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง ในอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี อาจส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณพื้นที่กำจัดขยะ โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

- 1) ประชาชนควรมีการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง เพื่อลดปริมาณและการตกค้างของขยะมูลฝอยในกระบวนการกำจัดขยะปลายทาง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดการปลดปล่อยสาร VOCs
- 2) ประชาชนหรือผู้ประกอบการที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เทกองขยะมูลฝอย จำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเพื่อความปลอดภัยตลอดเวลา รวมถึงเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยควรกำหนดขั้นตอน วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง อีกทั้งกำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้เหมาะสม
- 3) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนควรนำผลการวิจัยนี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน อ้างอิงประกอบการจัดทำนโยบาย แผน แนวปฏิบัติที่ดี หรือมาตรการควบคุมการเฝ้าระวังปัญหามลพิษทางอากาศจากสาร VOCs ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดขยะให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบด้านสุขภาพของประชาชนที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสสาร VOCs ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาผู้มีสมรรถนะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีการศึกษา 2566 และขอขอบคุณคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ห้องปฏิบัติการวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้การท้าววิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 13 มี.ค. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/publication/29509>
2. Chiemchaisri C, Juanga JP, Visvanathan C. Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. Environ Monit Assess 2007;135:13-20.



3. Schultz PW, Shriver C, Tabanico JJ, Khazian AM. Implicit connections with nature. *J Environ Psychol* 2004;24(1):31-42.
4. Deviatkin I, Horttanainen M, Havukainen J. *Encyclopedia of Sustainable Management*. Switzerland: Springer; 2021.
5. Andreae MO, Crutzen PJ. Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science* 1997;276(5315):1052-8.
6. กิตติ ชยางกุล. ผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอย: ศึกษากรณีการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอลำลูกหลวง จังหวัดปทุมธานี. *EAU Heritage* 2555;2(1):154-65.
7. US Environmental Protection Agency. Risk-assessment guidance for superfund. Volume 1. Human health evaluation manual Part A. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response; 1989.
8. Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Boocho M, Chomsurin C, Urase T, Takemura J. Evaluation of volatile organic compounds emission from solid waste disposal site in Thailand. In: proceedings of 12th International Joint Seminar on Regional Deposition Processes in the Atmosphere; November 13, 2006; Peking University, China. Beijing: Peking University Publisher; 2006.
9. ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. การเก็บตัวอย่างและตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.
10. วิชชากร จารุศิริ. การจัดการของเสียอันตรายและกากอุตสาหกรรม (Hazardous and Industrial Waste Management). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อภัยพิบัติ เซอร์วิส; 2561.
11. Roberts SM, Teaf CM, Bean JA. Hazardous waste incineration: Evaluating the human health and environmental risks. Florida: CRC Press; 1998.
12. Bortey-Sam N, Nakayama SM, Ikenaka Y, Akoto O, Baidoo E, Yohannes YB, Mizukawa H, Ishizuka M. Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicol Environ Saf* 2015;111:160-7.
13. Gutiérrez AJ, Rubio C, Moreno IM, González AG, Gonzalez-Weller D, Bencharki N, Hardisson A, Revert C. Estimation of dietary intake and target hazard quotients for metals by consumption of wines from the Canary Islands. *Food Chem Toxicol* 2017;108:10-8.
14. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือวิชาการ เรื่อง สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์; 2555.
15. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ. 2550 เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี กรมควบคุมมลพิษ [อินเทอร์เน็ต]. 2550 [เข้าถึงเมื่อ 13 ธ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/laws/2810>
16. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง กรมควบคุมมลพิษ [อินเทอร์เน็ต]. 2551 [เข้าถึงเมื่อ 13 ธ.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pcd.go.th/laws/4134>
17. Ighodaro A, Anegebe B, Okuo JM. Emission levels of volatile organic compounds from open dumpsite in Benin Metropolis. *NJAS* 2015;33:253-64.



18. Wu C, Liu J, Zhao P, Li W, Yan L, Piringer M, Schauburger G. Evaluation of the chemical composition and correlation between the calculated and measured odor concentration of odorous gases from a landfill in Beijing, China. *Atmos Environ* 2017;164:337-47.
19. Chiriac R, Carre J, Perrodin Y, Fine L, Letoffe JM. Characterization of VOCs emitted by open cells receiving municipal solid waste. *J Hazard Mater* 2007;149(2):249-63.
20. นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. เคมีบรรยากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2552.
21. Khademi F, Samaei MR, Shahsavani A, Azizi K, Mohammadpour A, Derakhshan Z, Giannakis S, Rodriguez-Chueca J, Bilal M. Investigation of the presence volatile organic compounds (BTEX) in the ambient air and biogases produced by a shiraz landfill in southern Iran. *Sustainability* 2022;14(2):1-16.