

การศึกษาชนิด ปริมาณ และสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในอากาศ  
ภายในอาคารสำนักงานStudy on Species, Concentrations and Source Apportionment of Volatile Organic  
Compounds (VOCs) in Indoor Air of Office Buildings.

(Received: October 15,2025 ; Revised: October 28,2025 ; Accepted: October 29,2025)

เพลินพิศ พงษ์ประยูร<sup>1</sup> สราวุธ เทพานนท์<sup>2</sup> วรณา เลาวกุล<sup>1</sup>ศุภนุช รสจันทร์<sup>1</sup>  
อรจิรียา ช่างเหล็ก<sup>1</sup> และ ปรียา อุ่นวิเศษ<sup>3</sup>Plernpis Pongprayoon<sup>1</sup> Sarawut Thepanondh<sup>2</sup> Wanna Laowagul<sup>1</sup> Supanut Roschan<sup>1</sup>  
Onjeereeya Changlek<sup>1</sup> and Preeya Unwiset<sup>3</sup>

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) แบบสำรวจภาคสนาม (Field Measurement Study) และการวิเคราะห์เชิงประยุกต์ (Applied Analytical Study) เพื่อศึกษาชนิด ปริมาณ และสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ในอากาศภายในอาคารสำนักงานเขตกรุงเทพมหานคร โดยเก็บตัวอย่างอากาศจากอาคารสำนักงาน 3 แห่งที่มีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ อาคารใหม่ (สำนักงาน A) อาคารเก่า (สำนักงาน B) และอาคารเก่าที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ (สำนักงาน C) ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ต่อเนื่อง 6 วัน ครบคลุมวันทำงานและวันหยุด ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม พ.ศ. 2566 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ใช้มาตรฐานของ U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) ได้แก่ Method TO-15 (Canister–Preconcentrator–GC/MS) สำหรับ VOCs ทั้งหมด และ Method TO-11A (DNPH–HPLC) สำหรับสารกลุ่มคาร์บอนิล ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยแบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) เพื่อแยกและประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของ VOCs

ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นรวมของ VOCs ภายในอาคารมีค่าระหว่าง 72.81–148.35 ppb ซึ่งสูงกว่าภายนอกอาคาร (33.07–76.17 ppb) อย่างมีนัยสำคัญ โดยสำนักงาน A มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (148.35 ppb) รองลงมาเป็นสำนักงาน C (118.52 ppb) และสำนักงาน B มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (72.81 ppb) สารที่ตรวจพบหลักภายในอาคารคือ Formaldehyde มีสัดส่วนสูงสุด (32–35%) รองลงมาคือ Ethanol (12–20%) ขณะที่ภายนอกอาคารพบ Ethanol มีสัดส่วนสูงสุด (24–26%) รองลงมาคือ Formaldehyde (15–20%) การวิเคราะห์แบบจำลอง PMF พบแหล่งกำเนิดหลักภายในอาคาร 3 ประเภท ได้แก่ (1) ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด (60–61% ในสำนักงาน A และ C) (2) วัสดุก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ไม้ (46% ในสำนักงาน B) และ (3) สีทาอาคารและสารยึดติด (14–26%) โดยมีความแตกต่างกันระหว่างอาคารตามลักษณะการใช้งานและอายุของอาคาร ขณะที่ภายนอกอาคารพบแหล่งกำเนิดหลักจากไอเสียยานพาหนะ (42–52%) ความเข้มข้นพื้นฐาน (16–31%) การปลดปล่อยทางชีวภาพ (13–28%) และการประกอบอาหาร (19% ในสำนักงาน C)

**คำสำคัญ:** คุณภาพอากาศภายในอาคาร, สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs), ฟORMALดีไฮด์, Positive Matrix Factorization (PMF)

## Abstract

This study is a quantitative research employing a field measurement and applied analytical approach to investigate the types, concentrations, and source contributions of volatile organic compounds (VOCs) in indoor air of Bangkok office. Air samples were collected from three office buildings with different characteristics: a new building (Office A), an old building (Office B), and a renovated old building (Office C). Sampling was conducted both indoors and outdoors for six consecutive days in each building, covering working days and weekends, during February to August 2023. The sampling and analytical procedures followed the U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

<sup>2</sup> คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>3</sup> กองยุทธศาสตร์และความร่วมมือระหว่างประเทศ กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

standard methods: Method TO-15 (Canister–Preconcentrator–GC/MS) for general VOCs and Method TO-11A (DNPH–HPLC) for carbonyl compounds. The collected data were statistically analyzed using the Positive Matrix Factorization (PMF) model to identify and quantify VOC emission sources.

The results revealed that the total VOC concentrations indoors ranged from 72.81 to 148.35 ppb, which were significantly higher than those outdoors (33.07–76.17 ppb). Among the buildings, Office A had the highest average indoor concentration (148.35 ppb), followed by Office C (118.52 ppb), while Office B showed the lowest (72.81 ppb). The predominant indoor VOCs were formaldehyde (32–35% of total VOCs) and ethanol (12–20%), whereas outdoor VOCs were dominated by ethanol (24–26%) and formaldehyde (15–20%). PMF analysis identified three main indoor emission sources: (1) cleaning products (60–61% in Offices A and C), (2) building materials and wooden furniture (46% in Office B), and (3) paints and adhesives (14–26%), with variations depending on the building's age and usage characteristics. For outdoor environments, the major sources were vehicle exhaust (42–52%), background concentrations (16–31%), biogenic emissions (13–28%), and cooking activities (19% near Office C).

**Keywords:** indoor air quality, volatile organic compounds VOCs, formaldehyde, Positive Matrix Factorization (PMF)

## บทนำ

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality: IAQ) เป็นประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากในปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่ภายในอาคารมากกว่า 80–90% ของเวลาในแต่ละวัน ทั้งในสถานที่ทำงาน อาคารสำนักงาน โรงเรียน และที่พักอาศัย โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง ทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพของประชาชน<sup>1,2</sup>

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) เป็นกลุ่มสารมลพิษที่มีความสำคัญต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องจากสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้องและมีการปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดหลายประเภท ทั้งจากภายในและภายนอกอาคาร<sup>3</sup> ตัวอย่างแหล่งกำเนิดภายในที่สำคัญ ได้แก่ วัสดุก่อสร้างและตกแต่ง (เช่น สีทาอาคาร สารเคลือบ เฟอร์นิเจอร์ไม้) ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและสารยัดตติ รวมทั้งกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร เช่น การใช้สเปรย์และผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล<sup>4</sup> ส่วนแหล่งกำเนิดภายนอกอาคารที่สำคัญ ได้แก่ ไอเสียยานพาหนะ การประกอบอาหาร และการปลดปล่อยทางชีวภาพจากพืช ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อระดับ VOCs โดยรวมในบรรยากาศเมือง<sup>5,6,7</sup>

VOCs มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างหลากหลาย ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว การสัมผัสใน

ระดับความเข้มข้นต่ำต่อเนื่องอาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา จมูก และลำคอ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ และอาจกระทบต่อระบบประสาท<sup>8</sup> ในขณะที่การสัมผัสสารบางชนิดในระดับสูง เช่น ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde) และเบนซีน (Benzene) อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งและความผิดปกติทางพันธุกรรม<sup>9</sup> องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ออกแนวทางคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality Guidelines) เพื่อเป็นกรอบการกำหนดมาตรฐานสุขภาพสำหรับสารมลพิษสำคัญภายในอาคาร (WHO, 2023) ซึ่งกำหนด ค่าแนะนำของ Formaldehyde สำหรับการสัมผัสเฉลี่ย 30 นาที ไม่เกิน 0.1 mg/m<sup>3</sup> (0.08 ppm)<sup>1</sup> ขณะที่ประเทศไทยได้ประกาศค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร พ.ศ. 2565 สำหรับสาร TVOC และ Formaldehyde โดยแนะนำให้มีความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ไม่เกิน 1,000 ppb และ 80 ppb ตามลำดับ<sup>10</sup>

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ VOCs ภายในอาคารในระดับนานาชาติพบว่า พบว่า ความเข้มข้นของสาร VOCs ภายในอาคารมีค่ามากกว่าภายนอกอาคารโดยทั่วไปประมาณ 2–10 เท่า โดยเฉพาะในอาคารสำนักงานและอาคารพักอาศัยที่มีการระบายอากาศจำกัด<sup>11</sup> ซึ่งสารสำคัญที่ตรวจพบได้บ่อย ในอาคารสำนักงาน ได้แก่ Formaldehyde Toluene Ethanol และ Acetone ซึ่งเป็นสารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารและสุขภาพของผู้พัก

อาศัย<sup>12</sup> ทั้งนี้ลักษณะของแหล่งกำเนิดและระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกันตามประเภทอาคาร สภาพภูมิอากาศ และกิจกรรมภายในอาคาร อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการศึกษาที่ละเอียดและครอบคลุมเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ และแหล่งกำเนิดของ VOCs ในบริบทของประเทศไทย โดยเฉพาะในอาคารสำนักงานเขตเมืองยังมีอยู่อย่างจำกัด<sup>13,14</sup>

การวิเคราะห์องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของสาร VOCs มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนและกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ หนึ่งในเครื่องมือทางสถิติที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือแบบจำลองการแยกแหล่งกำเนิด (Receptor Model) โดยเฉพาะแบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) ซึ่งสามารถระบุสัดส่วนของแหล่งกำเนิด VOCs ในแต่ละพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องวัดจากแหล่งกำเนิดต้นทางโดยตรง<sup>15</sup> ช่องว่างของข้อมูลในบริบทของประเทศไทยสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการศึกษารายละเอียดของชนิด ปริมาณ และแหล่งกำเนิดของ VOCs ในอาคารสำนักงานเขตเมืองเพื่อสนับสนุนการกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารและนโยบายด้านสาธารณสุขที่เหมาะสม ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินสถานการณ์ VOCs ในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร รวมถึงการระบุชนิด ปริมาณ และแหล่งกำเนิดที่สำคัญ เพื่อนำไปสู่แนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายใน

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศภายในอาคาร
2. ศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศภายในอาคาร

### วิธีการศึกษา

#### รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) แบบสำรวจภาคสนาม (Field Measurement Study) และการวิเคราะห์เชิงประยุกต์ (Applied Analytical Study) เพื่อศึกษาชนิด ปริมาณ และสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ในอาคารสำนักงานเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้การเก็บตัวอย่างอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยแบบจำลอง PMF เพื่อระบุแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ VOCs และสัดส่วนการมีส่วนร่วมของแต่ละแหล่ง ผลลัพธ์ที่ได้สามารถสะท้อนลักษณะ VOCs ในอาคารสำนักงานเขตเมือง เพื่อใช้วางแผนการจัดการคุณภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการในอาคารสำนักงานจำนวน 3 แห่ง ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เขตเมืองกรุงเทพมหานคร โดยมีลักษณะแตกต่างกันด้านอายุ และการปรับปรุงอาคาร ประกอบด้วย

1. อาคารสำนักงานใหม่ (A) เป็นอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 ปี ตั้งอยู่ใจกลางเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น ลักษณะอาคารเป็นระบบปิดที่มีการบำบัดอากาศจากภายนอกก่อนนำเข้ามาใช้ภายใน พร้อมระบบปรับอากาศส่วนกลางที่ครอบคลุมทุกพื้นที่ของอาคาร ภายในมีการแบ่งพื้นที่สำนักงานตามลักษณะงานของแต่ละแผนก
2. อาคารสำนักงานเก่า (B) เป็นอาคารของหน่วยงานราชการที่ใช้มานานมากกว่า 15 ปี มีระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ตั้งอยู่ในเขตเมืองติดถนนรอง พื้นที่ภายในมีการแบ่งสัดส่วนด้วยฉากกั้นและมีความหนาแน่นสูง เนื่องจากมีบุคลากรและเฟอร์นิเจอร์จำนวนมาก พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณชั้น 7 ของอาคาร มีพื้นที่รวมประมาณ 500 ตารางเมตร
3. อาคารสำนักงานเก่าที่ปรับปรุงใหม่ (C) เป็นสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ อาคารที่ใช้มานานกว่า 15 ปี และผ่านการปรับปรุงระบบภายในและ

ตกแต่งใหม่บางส่วน ตั้งอยู่ในย่านใจกลางเมือง ติดกับถนนสายหลักที่มีการจราจรหนาแน่น

ลักษณะการใช้งานของทั้งสามอาคารเป็นสำนักงานทั่วไป ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้งานระหว่าง 30–120 คนต่อวัน และมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องในวันทำการปกติ (จันทร์–ศุกร์) โดยมีระบบระบายอากาศแบบปิด (recirculation) เป็นหลัก

### การเก็บตัวอย่างอากาศ

การเก็บตัวอย่างอากาศภายในและภายนอกอาคาร แบบค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ดำเนินการต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 6 วัน ครอบคลุมทั้งวันทำงานและวันหยุดสุดสัปดาห์ เพื่อสะท้อนสถานะการใช้งานจริงของอาคารในแต่ละช่วงเวลา โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม พ.ศ. 2566

ภายในอาคาร - ทำการเก็บตัวอย่างที่บริเวณพื้นที่ใช้งานหลักของแต่ละอาคาร (โถงกลางสำนักงานหรือบริเวณที่มีผู้ใช้งานหนาแน่น) อย่างน้อย 2 จุดต่ออาคาร เพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ที่ระดับความสูง 1.0–1.5 เมตรจากพื้น เพื่อให้สอดคล้องกับระดับการหายใจของผู้ใช้งาน

ภายนอกอาคาร - ทำการเก็บตัวอย่างที่บริเวณใกล้เคียงประตูหลักหรือพื้นที่โล่งด้านนอกอาคาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับอากาศภายใน โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับด้านนอกอาคาร (ไม่ได้เก็บสำนักงาน A เนื่องจากอาคารมีการบำบัดอากาศจากภายนอกก่อนนำเข้ามาใช้ภายในอาคาร)

การเก็บตัวอย่าง VOCs ทั่วไป ใช้เทคนิค Canister-Preconcentrator-GC/MS ตามวิธี US EPA Method TO-15<sup>16</sup> โดยใช้ Canister ขนาด 6 ลิตร ต่อเข้ากับตัวควบคุมอัตราการไหล (flow controller) เพื่อให้สามารถเก็บตัวอย่างแบบรวม (integrated sampling) เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในอัตราการไหลเฉลี่ย 3.33 mL/min เมื่อเก็บตัวอย่างครบเวลาแล้วขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และการเก็บตัวอย่างสารกลุ่มคาร์บอนิล (เช่น Formaldehyde) โดยใช้ DNPH cartridge (2,4-dinitrophenylhydrazine) ต่อกับปั๊มดูดอากาศแบบปรับอัตราการไหลคงที่ (constant flow pump) ที่ 100 mL/min เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตามวิธี US EPA Method TO-11A<sup>17</sup> หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ จัดเก็บตัวอย่างในภาชนะที่ปิดสนิทและแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ระหว่างขนส่งไปห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 รายละเอียดการเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณพื้นที่อาคารสำนักงาน A B และ C

| อาคาร      | วันที่เก็บตัวอย่าง     | ประเภท      | จุดเก็บตัวอย่าง |
|------------|------------------------|-------------|-----------------|
| สำนักงาน A | 4-11 ส.ค. 2566         | Indoor Air  | ห้อง A1         |
|            |                        |             | ห้อง A2         |
|            |                        |             | ทางเดิน A3      |
| สำนักงาน B | 12-18 มิ.ย. 2566       | Indoor Air  | ห้อง B1         |
|            |                        |             | ห้อง B2         |
|            |                        | Ambient Air | ระเบียง B3      |
| สำนักงาน C | 23 ก.พ. – 2 มี.ค. 2566 | Indoor Air  | ห้อง C1         |
|            |                        |             | ห้อง C2         |
|            |                        | Ambient Air | ระเบียง C3      |

### การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่างอากาศจาก Canister ถูกวิเคราะห์ด้วยระบบ Preconcentrator–Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC/MS) ซึ่งใช้ cryogenic preconcentration ตามวิธี US EPA Method TO-15<sup>16</sup> สำหรับตรวจวัด VOCs กลุ่ม Aliphatic Hydrocarbons, Oxygenated Hydrocarbons, Aromatic Hydrocarbons, Halogenated Hydrocarbons, Fluorocarbon groups และอื่นๆ

ตัวอย่าง DNPH cartridge ถูกสกัดด้วย Acetonitrile และวิเคราะห์ด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่เป็น UV detector ที่ความยาวคลื่น 360 nm ตามวิธี US EPA Method TO-11A<sup>17</sup> เพื่อตรวจวัดสารกลุ่มคาร์บอนิล เช่น Formaldehyde และ Acetaldehyde เป็นต้น

ในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ มีการควบคุมคุณภาพอย่างเป็นระบบ โดยทำการสอบเทียบระบบเครื่องมือวิเคราะห์ด้วยก๊าซมาตรฐานที่ได้รับการรับรองความถูกต้องตามมาตรฐานสากล ก่อนเริ่มการวิเคราะห์แต่ละชุด นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ตัวอย่าง blank, duplicate และ calibration

check เป็นระยะ เพื่อประกันความถูกต้อง ความเที่ยง และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้ (QA/QC)

### การประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลชนิด และความเข้มข้นของสาร VOCs จากการวิเคราะห์ เป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง หน่วย ppb โดยปริมาตร ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและแต่ละวัน นำมาหาค่าเฉลี่ย โดยพิจารณาเฉพาะสารที่พบมากกว่า 30% ของจำนวนตัวอย่าง สารที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (MDL) จะถูกแทนค่าด้วย 1/2 ของ MDL ตามแนวทางมาตรฐาน<sup>18</sup>

### การวิเคราะห์แหล่งกำเนิด (Source Apportionment)

การระบุสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสาร VOCs ในอากาศภายในอาคารใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) Version 5.0 ที่พัฒนาโดย U.S. EPA ซึ่งเป็น receptor model ที่สามารถวิเคราะห์แยกแหล่งกำเนิดจากข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษจริง โดยไม่จำเป็นต้องวัดจากแหล่งต้นกำเนิดโดยตรง<sup>15,19</sup>

ชุดข้อมูลนำเข้า (Input data) สำหรับ PMF ประกอบด้วยความเข้มข้น VOCs รายชนิดจากทั้ง 3 สำนักงาน รวมทั้งหมด 82 ชนิด โดยคัดเลือกเฉพาะสารที่มีค่าตรวจวัดมากกว่า 30% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด เพื่อลดความไม่แน่นอนของผลการแยกแหล่งกำเนิด โมเดลถูกประเมินคุณภาพด้วยค่า Q (robust Q), residuals และการตรวจสอบ factor profiles เพื่อระบุแหล่งที่มีความสมเหตุสมผลเชิงกายภาพ

### ผลการศึกษา

#### ความเข้มข้นรวมของสารอินทรีย์ระเหยง่ายภายในและภายนอกอาคาร

ผลการตรวจวัดชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานทั้ง 3 แห่ง ตลอดระยะเวลา 6 วัน ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของ VOCs ได้ทั้งหมด 82 ชนิด รายละเอียดแสดงใน ตารางที่ 1

#### ภายในอาคาร (Indoor air)

สำนักงาน A ตรวจพบ VOCs ทั้งหมด 46 ชนิด มีปริมาณความเข้มข้นรวม 148.35 ppb สารที่มีความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ Formaldehyde (51.60 ppb) Ethanol (17.75 ppb) Toluene (15.27 ppb) Acetone (12.07 ppb) และ Hexanal (9.07 ppb)

สำนักงาน B ตรวจพบ VOCs ทั้งหมด 35 ชนิด มีความเข้มข้นรวม 72.81 ppb สารที่มีความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ Formaldehyde (23.40 ppb) Ethanol (14.48 ppb) Acetone (5.56 ppb) Isopropyl Alcohol (5.32 ppb) และ Acetaldehyde (5.05 ppb)

สำนักงาน C ตรวจพบ VOCs ทั้งหมด 36 ชนิด มีความเข้มข้นรวม 118.52 ppb สารที่มีความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ Formaldehyde (40.96 ppb) Ethanol (19.81 ppb) Acetaldehyde (16.95 ppb) Acetone (9.47 ppb) และ Isopropyl Alcohol (6.42 ppb)

#### ภายนอกอาคาร (Ambient air)

สำนักงาน B ตรวจพบ VOCs ทั้งหมด 34 ชนิด มีความเข้มข้นรวม 33.07 ppb โดยสารที่มีความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ Ethanol (18.48 ppb) Formaldehyde (11.16 ppb) Acetone (9.73 ppb) Isopropyl Alcohol (8.55 ppb) และ Acetaldehyde (6.59 ppb)

สำนักงาน C ตรวจพบ VOCs ทั้งหมด 37 ชนิด มีความเข้มข้นรวม 76.17 ppb โดยสารที่มีความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ Ethanol (8.55 ppb) Formaldehyde (6.52 ppb) Acetone (2.92 ppb) Toluene (2.40 ppb) และ Acetaldehyde (1.93 ppb)

ภาพรวมพบว่า ภายในอาคารสำนักงาน A มีความเข้มข้นรวมของ VOCs สูงที่สุด (148.35 ppb) รองลงมาคือสำนักงาน C และ B ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณภายนอกอาคารมีความเข้มข้นรวมต่ำกว่า โดยเฉพาะภายนอกอาคาร B ที่มีค่าเพียง 33.07 ppb เท่านั้น แสดงดังภาพที่ 1 สารหลักที่ตรวจพบอย่างต่อเนื่องทั้งภายในและภายนอก ได้แก่ Formaldehyde, Ethanol, Acetone และ Acetaldehyde ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ

ก่อสร้าง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด และกิจกรรม  
ภายในอาคาร รวมถึงการจราจรและแหล่งกำเนิด  
ภายนอก

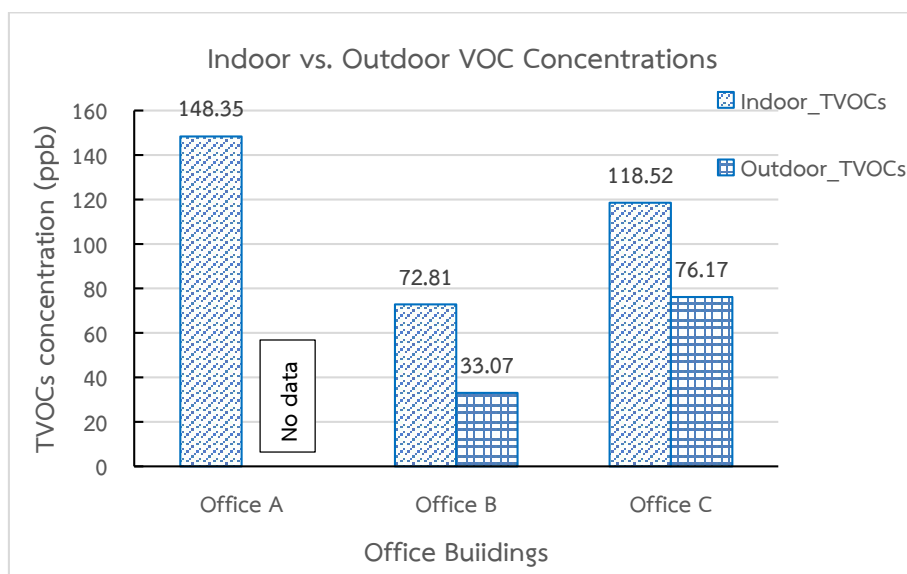
ตารางที่ 2 ชนิดและค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร VOCs ที่ตรวจพบภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน A B และ C

| ลำดับที่ | ชนิด                   | ภายในอาคาร (ppb) |            |            | ภายนอกอาคาร (ppb) |            |
|----------|------------------------|------------------|------------|------------|-------------------|------------|
|          |                        | สำนักงาน A       | สำนักงาน B | สำนักงาน A | สำนักงาน B        | สำนักงาน A |
| 1        | Propene                | 4.57             | 0.98       | 1.86       | 1.00              | 2.16       |
| 2        | Freon 12               | 0.39             | 0.41       | 0.36       | 0.46              | 0.35       |
| 3        | Freon 22               | 0.51             | 4.75       | 4.05       | 0.98              | 2.24       |
| 4        | Chloromethane          | 0.69             | 0.70       | 0.90       | 0.71              | 0.95       |
| 5        | Isobutene              | 0.47             | 0.22       | 0.32       | 0.28              | 0.33       |
| 6        | 1,3-Butadiene          | 0.12             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 7        | Freon 11               | 0.25             | 0.19       | 0.18       | 0.21              | 0.18       |
| 8        | Pentane                | 1.32             | 0.62       | 0.92       | 0.40              | 0.94       |
| 9        | Isoprene               | 0.45             | 0.43       | ND         | 0.29              | 0.48       |
| 10       | Acrylonitrile          | 0.46             | 0.44       | ND         | 0.29              | 0.57       |
| 11       | Ethanol                | 17.75            | 14.48      | 19.81      | 8.55              | 18.48      |
| 12       | 2-Propenal             | 0.65             | 0.47       | 0.63       | 0.26              | 0.70       |
| 13       | Freon 113              | 0.11             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 14       | Acetone                | 12.07            | 5.56       | 9.47       | 2.92              | 9.73       |
| 15       | Isopropyl Alcohol      | 7.10             | 5.32       | 6.42       | 1.14              | 8.55       |
| 16       | Dichloromethane        | 0.52             | 0.31       | 0.71       | 0.24              | 0.69       |
| 17       | Cyclopentane           | 2.70             | 0.45       | 0.72       | 0.24              | 0.72       |
| 18       | Hexane                 | 1.25             | 0.34       | 0.6        | 0.24              | 0.57       |
| 19       | Methacrolein           | 0.32             | 0.13       | 0.17       | 0.12              | 0.17       |
| 20       | 1-Propanol             | 0.56             | 0.65       | 0.94       | 0.3               | 0.85       |
| 21       | Methyl vinyl ketone    | 0.79             | 0.42       | 0.58       | 0.29              | 0.55       |
| 22       | 2-Butanone             | 1.57             | 0.98       | 1.32       | 0.86              | 1.30       |
| 23       | Chloroform             | 0.17             | ND         | ND         | ND                | 0.13       |
| 24       | Cyclohexane            | 1.86             | 0.21       | 0.33       | 0.14              | 0.32       |
| 25       | Carbon tetrachloride   | 0.12             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 26       | Benzene                | 0.42             | 0.26       | 0.61       | 0.2               | 0.63       |
| 27       | 1,2-Dichloroethane     | ND               | ND         | 0.13       | ND                | 0.15       |
| 28       | 2-Pentanone            | 0.24             | 0.17       | 0.3        | 0.16              | 0.31       |
| 29       | Pentanal               | 0.38             | 0.36       | 0.43       | 0.23              | 0.45       |
| 30       | 3-Pentanone            | 0.14             | ND         | ND         | ND                | 0.13       |
| 31       | 1,4-Dioxane            | 0.17             | ND         | ND         | 0.19              | ND         |
| 32       | Methyl Isobutyl Ketone | 0.46             | 0.33       | ND         | ND                | 0.26       |
| 33       | Toluene                | 15.27            | 2.52       | 3.01       | 2.4               | 2.74       |
| 34       | 2-Hexanone             | 0.14             | ND         | 0.19       | 0.18              | 0.24       |
| 35       | Hexanal                | 9.07             | 0.84       | 1.00       | 0.40              | 1.03       |

ตารางที่ 2 ชนิดและค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร VOCs ที่ตรวจพบภายในและภายนอกอาคารสำนักงาน A B และ C

| ลำดับที่ | ชนิด                   | ภายในอาคาร (ppb) |            |            | ภายนอกอาคาร (ppb) |            |
|----------|------------------------|------------------|------------|------------|-------------------|------------|
|          |                        | สำนักงาน A       | สำนักงาน B | สำนักงาน A | สำนักงาน B        | สำนักงาน A |
| 36       | Ethylbenzene           | 2.45             | 0.35       | 0.45       | 0.24              | 0.38       |
| 37       | m,p-Xylene             | 2.67             | 0.58       | 0.84       | 0.42              | 0.67       |
| 38       | o-Xylene               | 0.92             | 0.20       | 0.35       | 0.15              | 0.29       |
| 39       | Styrene                | 0.66             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 40       | 1,3,5-Trimethylbenzene | 0.12             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 41       | 1,2,4-Trimethylbenzene | 0.31             | 0.13       | 0.21       | 0.11              | 0.19       |
| 42       | 1,2,3-Trimethylbenzene | 0.14             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 43       | Benzyl chloride        | 0.13             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 44       | Formaldehyde           | 51.6             | 23.4       | 40.96      | 6.52              | 11.16      |
| 45       | Acetaldehyde           | 4.95             | 5.05       | 16.95      | 1.93              | 6.59       |
| 46       | Propionaldehyde        | ND               | ND         | 0.81       | ND                | ND         |
| 47       | Butyraldehyde          | ND               | ND         | 0.91       | ND                | ND         |
| 48       | Benzaldehyde           | 0.88             | ND         | ND         | ND                | ND         |
| 49       | o-Tolualdehyde         | ND               | 0.32       | 0.46       | ND                | ND         |
| 50       | Hexanaldehyde          | 0.47             | 0.25       | 0.61       | ND                | ND         |

หมายเหตุ ND (Not Detected): ตรวจไม่พบสารดังกล่าว



ภาพที่ 1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย TVOCs ภายในและภายนอกอาคารสำนักงานทั้งสามแห่ง

สำนักงาน A ซึ่งเป็นอาคารใหม่ พบความเข้มข้น TVOCs ภายในสูงกว่าอาคารเก่า (B) ถึงกว่า 2 เท่า สะท้อนถึงการปลดปล่อย VOCs จากวัสดุก่อสร้างและตกแต่งใหม่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญในช่วงแรกหลังเปิดใช้งานอาคาร<sup>11,20</sup>

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของ VOCs ภายในอาคาร พบว่า สารที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ Formaldehyde และ Ethanol ซึ่งเป็นสารสำคัญที่พบอย่างต่อเนื่องในทุกอาคาร โดย Formaldehyde มีสัดส่วนคิดเป็นประมาณ 32–35% ของ VOCs

ทั้งหมด ส่วน Ethanol มีสัดส่วนประมาณ 12–20% ของ VOC ทั้งหมด

ในขณะที่บริเวณภายนอกอาคาร พบว่า Ethanol เป็นสารที่มีความเข้มข้นสูงสุด (24–26%) รองลงมาคือ Formaldehyde (15–20%) ซึ่งบ่งชี้ถึงความแตกต่างของลักษณะแหล่งกำเนิดระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยภายนอกมีสัดส่วนของการปลดปล่อยจากยานพาหนะและการประกอบอาหารสูงกว่า<sup>3,5,12</sup> ดังแสดงในภาพที่ 2 สัดส่วนของสารหลักที่ตรวจพบ (Formaldehyde Ethanol และอื่น ๆ) จำแนกเป็นภายในอาคารและภายนอกอาคาร แสดงความแตกต่างขององค์ประกอบสาร VOCs โดยภายในอาคารพบ Formaldehyde เป็นสัดส่วนหลัก ขณะที่ภายนอกอาคาร Ethanol มีสัดส่วนสูงกว่า

#### การจำแนกและวิเคราะห์แหล่งกำเนิดด้วยแบบจำลอง PMF

การวิเคราะห์ข้อมูล VOCs ด้วยแบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดหลักภายในและภายนอกอาคารได้ชัดเจน รวมทั้งหมด 3 ปัจจัยหลัก (Factors) สำหรับภายในอาคาร และ 4 ปัจจัยสำหรับภายนอกอาคาร ดังนี้

##### ภายในอาคาร

1. สารทำความสะอาด (Cleaning products) เป็นแหล่งหลักในสำนักงาน A และ C คิดเป็น 60–61% ของความเข้มข้นรวมภายในอาคาร โดยสารบ่งชี้ (marker species) ได้แก่ Ethanol, Isopropyl alcohol และสาร oxygenated VOCs อื่น ๆ แสดงถึงการใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหลากหลายชนิดในอาคาร

2. วัสดุก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ไม้ (Building materials & wood furniture) พบสัดส่วนสูงในสำนักงาน B (46%) มีสารบ่งชี้ เช่น Formaldehyde, Acetaldehyde, Alkanes

3. สีทาอาคารและสารยึดติด (Paints and adhesives) พบในสัดส่วนรอง (10–20%) ของทุกสำนักงาน โดยเฉพาะในสำนักงาน A ซึ่งเป็นอาคารใหม่ มีสารบ่งชี้ เช่น Xylene และ Benzene บ่งชี้ถึง

การใช้สีทาอาคารและกาวต่างๆ ในการก่อสร้างและตกแต่ง

##### ภายนอกอาคาร

1. ไอเสียยานพาหนะ (Vehicular emissions) เป็นแหล่งกำเนิดหลักในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น มีสารบ่งชี้ เช่น Aromatic hydrocarbons (Toluene, Ethylbenzene, Xylenes)

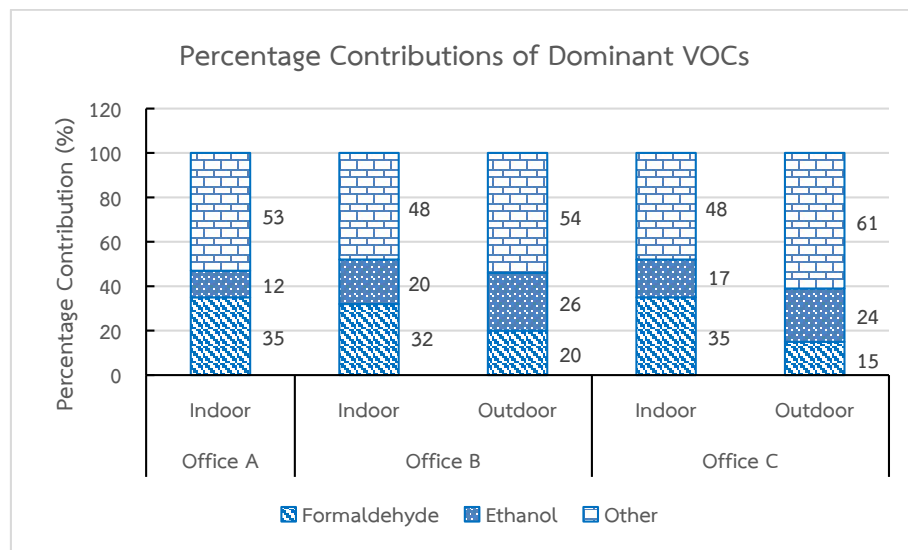
2. ความเข้มข้นพื้นฐาน (Background) เป็นสารที่พบในบรรยากาศอยู่แล้วในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เช่น Freon 12, Freon 11 และ Chloromethane

3. การปลดปล่อยทางชีวภาพ (Biogenic emissions) เป็นสารที่มีการปลดปล่อยจากพืช ต้นไม้ คือ Isoprene

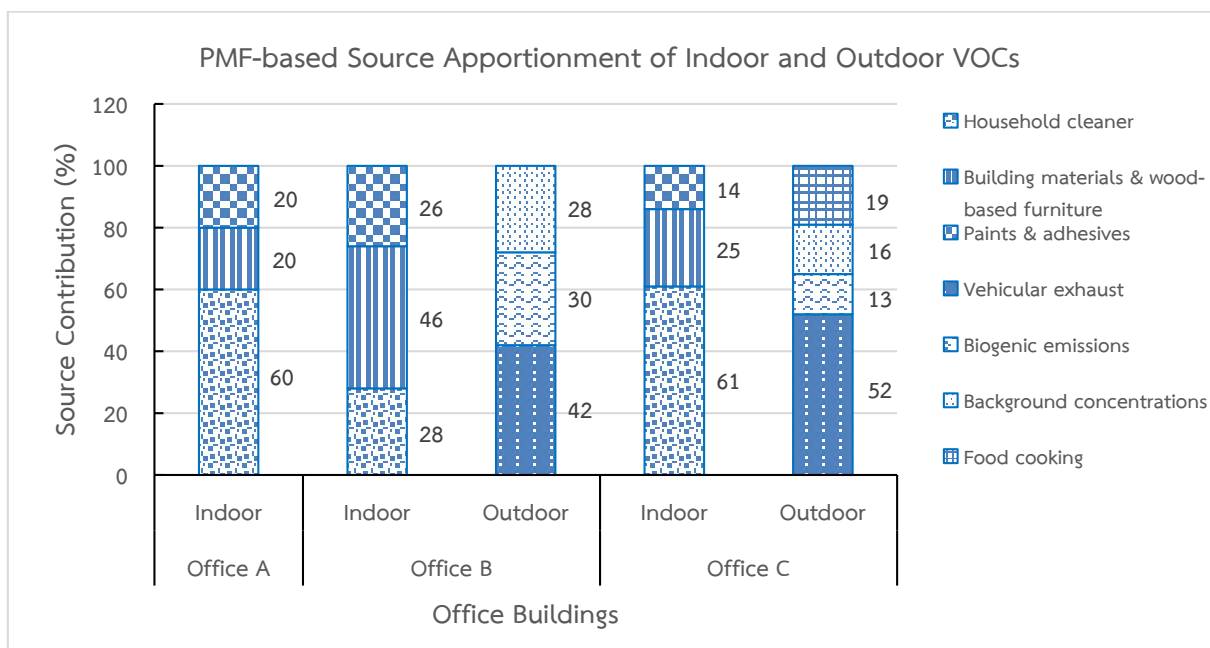
4. การประกอบอาหาร (Cooking emissions) ตรวจพบชัดเจนในสำนักงาน C ซึ่งใกล้ร้านอาหารและโรงอาหาร บ่งชี้ถึงผลกระทบจากการทำอาหารในบริเวณใกล้เคียง

สัดส่วนแหล่งกำเนิด VOCs ภายในอาคารจากแบบจำลอง PMF (สำนักงาน A, B, C) โดยแสดงการมีส่วนร่วมของแหล่ง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด วัสดุก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ไม้ และสีทาอาคารและสารยึดติด พบว่าสำนักงาน A และ C มีแหล่งผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเป็นตัวนำ ขณะที่สำนักงาน B มีส่วนร่วมจากวัสดุก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ไม้มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3 และแหล่งกำเนิด VOCs ภายนอกอาคารพบว่า ไอเสียจากยานพาหนะเป็นแหล่งกำเนิดหลัก โดยมีสัดส่วนประมาณ 42–52% ของความเข้มข้นรวมของ VOCs ภายนอกอาคาร รองลงมาคือ ความเข้มข้นพื้นฐาน (16–31%) และการปลดปล่อยทางชีวภาพ (13–28%) ขณะที่แหล่งกำเนิดจากการประกอบอาหารมีสัดส่วนประมาณ 19% ในบริเวณภายนอกอาคาร C ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการใช้งานพื้นที่บริเวณโดยรอบอาคาร สะท้อนให้เห็นว่า แหล่งกำเนิด VOCs ภายนอกอาคารในเขตเมือง มีความซับซ้อนและได้รับอิทธิพลหลักจากการจราจร รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์และแหล่งกำเนิดพื้นฐานในบรรยากาศ ซึ่งเป็น

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการประเมินคุณภาพ  
อากาศและแหล่งกำเนิด VOCs ภายในอาคาร



ภาพที่ 2 สัดส่วนความเข้มข้นของสารหลักที่ตรวจพบ (Formaldehyde, Ethanol) ภายในและภายนอกอาคาร



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิด VOCs ภายในและภายนอกอาคารจากแบบจำลอง PMF

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวันทำงาน และวันหยุดสุดสัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้น VOCs ภายในอาคาร มีแนวโน้มลดลงในวันหยุด โดยเฉพาะสารกลุ่ม Ethanol และ Isopropyl Alcohol ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทำความสะอาดและการใช้งานของบุคลากร ที่มีผลต่อระดับ VOCs ในอาคารแบบทันที (short-term variation) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะการปลดปล่อยที่

สัมพันธ์กับกิจกรรมมนุษย์<sup>8</sup> ในขณะที่สาร Formaldehyde มีความเข้มข้นคงที่มากกว่า เนื่องจากการปลดปล่อยต่อเนื่องจากวัสดุภายในอาคาร (off-gassing) ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มที่รายงานในงานของ Mushtaq et al. (2023) และ WHO (2010)<sup>8,21</sup>

เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางของกรมอนามัย ซึ่งกำหนดค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคาร สาธารณะ พ.ศ. 2565 ของ TVOC และ Formaldehyde โดยแนะนำให้มีความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ไม่เกิน 1,000 ppb และ 80 ppb ตามลำดับ พบว่าสำนักงานทั้ง 3 แห่ง มีค่าไม่เกินเกณฑ์ดังกล่าว

### สรุปและอภิปราย

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นรวมของ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOCs) ภายในอาคาร สำนักงานมีค่าสูงกว่าภายนอกอาคารอย่างชัดเจนในทุกอาคาร โดยเฉพาะสำนักงาน A ซึ่งเป็นอาคารใหม่ พบค่าความเข้มข้นภายในสูงสุด (148.35 ppb) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในประเทศและต่างประเทศที่พบว่าอาคารใหม่มักมีการปลดปล่อย VOCs จากวัสดุตกแต่งและตกแต่งภายในในช่วงปี แรกหลังการก่อสร้างสูง<sup>2,11,12</sup> ตัวอย่างเช่น Habeebullah พบว่า ความเข้มข้นของสารมลพิษ ภายในอาคารโดยเฉพาะ VOCs มีค่ามากกว่าภายนอกอาคารประมาณ 2–10 เท่า โดยมีปัจจัยหลักจากระบบ ระบายอากาศที่จำกัดและแหล่งกำเนิดภายในอาคาร เช่น วัสดุตกแต่งและกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร<sup>11</sup> ขณะที่ Sofowote et al. พบว่าความเข้มข้นของ VOCs ภายในอาคารมีค่ามากกว่าภายนอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวที่ระบบระบายอากาศมี ข้อจำกัด ทำให้สารมลพิษภายในอาคารสะสมเพิ่มขึ้น<sup>20</sup> ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มที่รายงานในงานศึกษาของ Zhang et al.<sup>21</sup>

องค์ประกอบสาร VOCs ภายในอาคาร พบว่า Formaldehyde และ Ethanol เป็นสารหลัก โดย Formaldehyde คิดเป็น 32–35% ของ VOCs ทั้งหมด ซึ่งเป็นสารที่มีนัยสำคัญทางสุขภาพตาม แนวทางขององค์การอนามัยโลก (WHO)<sup>22</sup> และ Ethanol คิดเป็น 12–20% ของ VOCs ทั้งหมด สอดคล้องกับลักษณะแหล่งกำเนิดภายใน เช่น วัสดุ ก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ไม้ สีทาอาคาร และผลิตภัณฑ์ทำ ความสะอาด<sup>3,4,5</sup> ขณะที่ภายนอกอาคาร Ethanol มี สัดส่วนสูงสุด (24–26%) บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดจาก

กิจกรรมภายนอก เช่น การจราจรและการประกอบ อาหาร<sup>23</sup> ความแตกต่างเชิงองค์ประกอบนี้สะท้อนถึง บทบาทของแหล่งกำเนิดเฉพาะพื้นที่ ซึ่งมีความสำคัญ ต่อการออกแบบมาตรการควบคุมคุณภาพอากาศ ภายในอย่างเหมาะสม

การวิเคราะห์แบบจำลอง PMF พบว่า ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญ ภายในสำนักงาน A และ C (คิดเป็น 60–61% ของ VOCs ภายในอาคาร) สะท้อนถึงการใช้สารเคมีใน กิจกรรมประจำวัน เช่น สเปรย์ทำความสะอาดและ น้ำยาฆ่าเชื้อ ซึ่งมี Ethanol และ Isopropyl Alcohol เป็นองค์ประกอบหลัก ปรากฏการณ์นี้ถูกพบอย่าง กว้างขวางในงานวิจัยช่วงหลัง โดยเฉพาะหลังการ ระบาดของโรค COVID-19 ที่เพิ่มการใช้ผลิตภัณฑ์ทำ ความสะอาดในสำนักงาน<sup>24,25</sup> ส่วนสำนักงาน B ซึ่งเป็น อาคารเก่า แหล่งกำเนิดหลักคือ วัสดุตกแต่งและ เฟอร์นิเจอร์ไม้ (46%) โดยเฉพาะ Formaldehyde และ Acetaldehyde จากการปลดปล่อยอย่างช้า (off-gassing) ของวัสดุภายในอาคาร ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ ที่อาจดำเนินต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายปี<sup>4,26</sup> ส่วน แหล่งสีทาอาคารและสารยึดติด มีบทบาทรอง (10–20%) พบมากในอาคารที่เพิ่งผ่านการปรับปรุง (เช่น สำนักงาน A) ซึ่งคล้ายกับผลจากงานวิจัยของ Salthammer ที่พบว่ากลุ่มสาร Aromatics และ Oxygenated VOCs จากสีและกาวจะลดลงอย่าง ชัดเจนหลัง 6–12 เดือนของการใช้งาน<sup>3</sup> โดยแต่ละ อาคารมีรูปแบบแหล่งกำเนิดแตกต่างกันตามอายุและ ลักษณะการใช้งาน ผลการศึกษายืนยันว่าแหล่งกำเนิด ภายในมีบทบาทสำคัญกว่าปัจจัยภายนอก และควรถูก จัดการตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกวัสดุและการออกแบบ ระบบระบายอากาศ

แม้ว่างานวิจัยนี้จะดำเนินการอย่างเป็นระบบ และครอบคลุม แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควร พิจารณา ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างค่อนข้างสั้น (6 วันต่อสำนักงาน) อาจไม่สามารถสะท้อนความผันแปร ของความเข้มข้น VOCs ในเชิงฤดูกาลได้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ จำนวนอาคารที่ศึกษาเพียง 3 แห่ง แม้จะ เป็นตัวแทนของอาคารสำนักงานในเขตเมือง แต่ยังไม่

ครอบคลุมประเภทอาคารอื่น เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล หรือที่อยู่อาศัย ซึ่งอาจมีรูปแบบแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน แบบจำลอง PMF แม้จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลปลายทางเพื่อระบุแหล่งกำเนิด แต่ความถูกต้องของผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับคุณภาพและความครบถ้วนของข้อมูล รวมถึงการตีความโดยผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในงานนี้เป็นเพียงการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของกรมอนามัย ยังไม่ได้ดำเนินการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ ซึ่งควรเป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาต่อในอนาคต

### ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาที่สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการยกระดับมาตรการด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร ทั้งในระดับนโยบายและการปฏิบัติ ในระดับนโยบาย ควรกำหนดและบังคับใช้มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารระดับชาติสำหรับ VOCs ที่สำคัญ เช่น Formaldehyde ควบคู่กับการกำหนดมาตรฐานวัสดุก่อสร้างและผลิตภัณฑ์ภายในอาคารแบบ Low-VOC เพื่อลดการปลดปล่อยจากต้นทาง รวมถึงส่งเสริมระบบเฝ้าระวังและรายงานคุณภาพอากาศในอาคารอย่างเป็นระบบทั้งภาครัฐและเอกชน ในระดับปฏิบัติ ควรปรับปรุงระบบระบายอากาศ โดยเฉพาะอาคารระบบปิด ให้มีการหมุนเวียนอากาศบริสุทธิ์ที่เพียงพอ จัดการการใช้ผลิตภัณฑ์และกิจกรรมที่

ปลดปล่อย VOCs เช่น การทำความสะอาดหลังเวลาทำงาน และสร้างความตระหนักรู้แก่ผู้ใช้อาคารเกี่ยวกับผลกระทบของ VOCs เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการลดการปลดปล่อย

สำหรับทิศทางการวิจัยในอนาคต ควรมีการศึกษาในระยะยาวที่ครอบคลุมฤดูกาลและขยายไปยังอาคารประเภทอื่น รวมทั้งพัฒนาการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเชิงปริมาณและการประเมินผลกระทบแบบบูรณาการ นอกจากนี้ควรส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักวิจัย หน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชน เพื่อสร้างฐานข้อมูล VOCs ภายในอาคารระดับประเทศที่เป็นระบบและยั่งยืน

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566–2567 คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล บริษัท เอ็น.ซี.ซี. แมนเนจเม้นท์ แอนด์ ดิเวลลอปเม้นท์ จำกัด และ กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และข้อมูล ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้ให้ข้อมูลที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization (WHO). Indoor air quality guidelines. Geneva: World Health Organization; 2023.
2. Weschler CJ, Carslaw N. Indoor chemistry. Environ Sci Technol. 2018;52(5):2419–2438. doi:10.1021/acs.est.7b06387.
3. Salthammer T. Volatile organic compounds in the indoor environment. Indoor Air. 2019;29(5):770–781. doi:10.1111/ina.12589.
4. Salthammer T, Mentese S, Marutzky R. Formaldehyde in the indoor environment. Chem Rev. 2010; 110(4):2536–2572. doi:10.1021/cr800399g.
5. Deng C, Liu Y, Qiu J, Liu Y, Fan G, Yang Y, et al. Characteristics, sources and health risks of ambient volatile organic compounds (VOCs) in urban and suburban areas of Beijing, China. Atmos Environ. 2019;211:240–250. doi:10.1016/j.atmosenv.2019.05.011.
6. Gkatzelis GI, Coggon MM, McDonald BC, Peischl J, Gilman JB, Aikin KC, et al. The global impacts of cooking emissions on ambient air quality. Environ Sci Technol. 2021;55(1):108–116. doi:10.1021/acs.est.0c05418.

7. Guenther AB, Jiang X, Heald CL, Sakulyanontvittaya T, Duhl T, Emmons LK, Wang X. The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. *Geosci Model Dev.* 2012;5:1471–1492. doi:10.5194/gmd-5-1471-2012.
8. Mushtaq N, Greaves G, Siddiqui S, Alwan IA, Rahman MM, Tokoro C, et al. Critical review on emerging health effects associated with the indoor environment. *Science of the Total Environment.* 2023; 858:160059. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.160059.
9. International Agency for Research on Cancer (IARC). Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon: IARC; 2012.
10. กรมอนามัย. ประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ: กรมอนามัย; 2565.
11. Habeebullah TM. A review on monitoring and performance of indoor air quality in buildings. *Energy Reports.* 2022;8:397–419. doi:10.1016/j.egyr.2021.11.261.
12. Wang S, Ang HM, Tade MO. Characterization of VOCs in offices in China. *Build Environ.* 2017;117:180–187. doi:10.1016/j.buildenv.2017.03.014.
13. มุลริน ต๊ะ. การสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงาน [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.
14. มณีรัตน์ องค์วรรณดี. ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอาคารสำนักงานเขตเมือง [รายงานวิจัย]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ; 2553.
15. Hopke PK. Review of receptor modeling methods for source apportionment. *J Air Waste Manag Assoc.* 2016;66(3):237–259. doi:10.1080/10962247.2016.1140693.
16. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Compendium Method TO-15: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by GC/MS. Cincinnati (OH): U.S. Environmental Protection Agency; 1999.
17. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Compendium Method TO-11A: Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by HPLC. Cincinnati (OH): U.S. Environmental Protection Agency; 1999.
18. Helsel DR. Statistics for censored environmental data using Minitab and R. Hoboken (NJ): Wiley; 2012.
19. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2014. Report No.: EPA/600/R-14/108.
20. Sofowote UM, Su Y, Dabek-Zlotorzynska E, Chen H, Brook J, Evans G, et al. Sources and temporal variations of selected VOCs in Canada: Application of PMF. *Atmos Environ.* 2014;98:190–199. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.08.065.
21. Zhang J, He Q, Wang S, Yao S, Zhang X, Wang C. Characteristics and health risks of VOCs in office buildings in different seasons. *Build Environ.* 2019;147:1–9. doi:10.1016/j.buildenv.2018.09.041.
22. World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva: World Health Organization; 2010.
23. Weschler CJ. Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmos Environ.* 2009;43(1):153–169. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.044.
24. Nazaroff WW. Indoor air chemistry in the post-COVID era. *Indoor Air.* 2021;31(3):466–469. doi:10.1111/ina.12769.
25. Morawska L, Tang JW, Bahnfleth W, Bluyssen PM, Boerstra A, Buonanno G, et al. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimized. *Environ Int.* 2020;142:105832. doi:10.1016/j.envint.2020.105832.
26. Salthammer T. Emissions of volatile organic compounds from wood and wood-based products. *Environ Int.* 2016;89–90:96–107. doi:10.1016/j.envint.2016.02.017.